

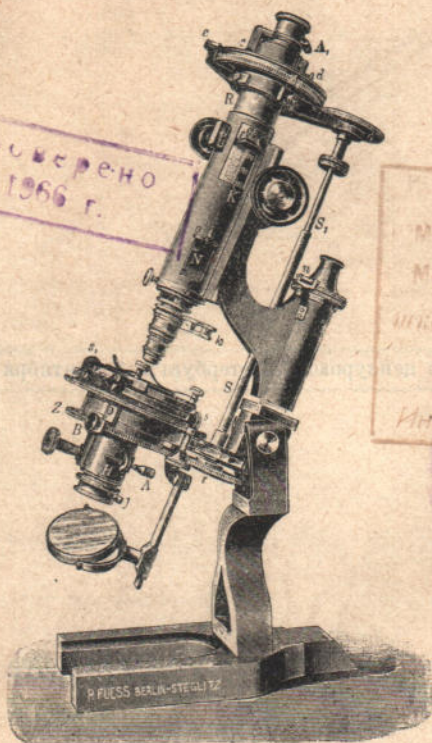
53  
B-26

Э. Вейншенкь.

Профессоръ петрографіи мюнхенскаго университета.

# ПОЛЯРИЗАЦІОННЫЙ МИКРОСКОПЪ.

ЕГО ПРИМѢНЕНИЕ ВЪ МИНЕРАЛОГІИ И ПЕТРОГРАФІИ.



Переводъ съ нѣмецкаго П. П. Сущинскаго.

Подъ редакціей Проф. Б. К. Полѣнова.

Съ 100 рисунками въ текстѣ.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Изданіе В. А. Обручева.

Типо-Литографія І. Лурье и К<sup>о</sup>, Гороховая, 45.

1904.



## Предисловіе къ русскому изданію.

Настоящая книга является первой въ ряду пособій по петрографіи, изданныхъ извѣстнымъ мюнхенскимъ профессоромъ Вейншенкомъ (Prof. Ernst Weinschenk, „Anleitung zum Gebrauch des Polarisationsmikroskops“, Freiburg, Herdersche Verlagshandlung). Заграницей она имѣла хорошій успѣхъ и заслужила лестные отзывы ученыхъ за краткость и чрезвычайную ясность изложенія при почти исчерпывающей полнотѣ содержанія. Если она привлекла къ себѣ вниманіе заграницей, гдѣ существуетъ не мало аналогичныхъ пособій, то тѣмъ болѣшій интересъ она должна представлять для русскихъ студентовъ и вообще лицъ, приступающихъ къ изученію кристаллооптики и петрографіи, такъ какъ у насъ до сихъ поръ не было ни одного пособия, гдѣ бы съ достаточной полнотой были изложены современные методы и приемы микро-оптическихъ изслѣдованій.


Правда, только-что появившійся русскій переводъ „Руководства къ практической геологіи“ Кейльгака, одна изъ главъ котораго, составленная специально для русскаго изданія моимъ уважаемымъ товарищемъ проф. Ф. Ю. Левинсономъ-Лессингомъ, имѣетъ своимъ предметомъ то же, что и предлагаемая работа, но, составляя одну изъ главъ объемистаго двухтомнаго сочиненія весьма разнообразнаго содержанія, она, по необходимости, уступаетъ въ полнотѣ предлагаемому специальному сочиненію и менѣе доступна по общей цѣнѣ того сборнаго труда, въ который она входитъ, какъ составная часть.

Настоящій переводъ сдѣланъ съ любезнаго разрѣшенія автора П. П. Сушинскимъ, хранителемъ Минералогическаго Кабинета Императорскаго С.-Петербургскаго Университета, и просмотрѣнъ мною. Въ подлинникъ введены лишь незначительныя дополненія и измѣненія, казавшіяся намъ полезными для русскихъ читателей.

Постоянно и сильно ощущавшійся мной при веденіи занятій по петрографіи въ Спб. Университетѣ недостатокъ въ пособіяхъ на рускомъ языкѣ въ нѣкоторой части пополняетъ настоящая работа. Знакомство съ ней значительно облегчаетъ пользованіе микроскопомъ для цѣлей минералогіи, петрографіи и соприкасающихся съ ними отраслей знанія.

*В. Полъновъ.*

Спб.  
Февраль 1904 г.





## ПРЕДИСЛОВІЕ.

Несмотря на то, что оптическіе методы микроскопических изслѣдованій за послѣднія десятилѣтія достигли поразительнаго развитія, до недавняго времени не существовало сжатаго, но основаннаго на современномъ состояніи науки изложенія этихъ методовъ, которое позволило бы и не-спеціалисту воспользоваться въ болѣе широкихъ размѣрахъ успѣхами этой части микроскопической техники. Многочисленные сочиненія по общей микроскопіи ограничиваются обыкновенно немногими словами относительно пользованія поляризаціоннымъ микроскопомъ; существующіе же изложенія методовъ специальныхъ изслѣдованій съ поляризаціоннымъ микроскопомъ, съ одной стороны, требуютъ отъ читателя слишкомъ большой подготовки, а съ другой, входятъ въ составъ очень объемистыхъ, а потому дорого стоящихъ специальныхъ сочиненій, пріобрѣтеніе которыхъ доступно не всякому.

Хотя въ послѣднее время и появилось нѣсколько краткихъ учебниковъ, которые излагаютъ въ общедоступной формѣ главнѣйшіе методы пользованія поляризаціоннымъ микроскопомъ, тѣмъ не менѣе автору казалось желательнымъ появленіе краткаго очерка, который могъ бы служить для начинающаго руководствомъ при работахъ съ поляризаціоннымъ микроскопомъ, а для человѣка болѣе опытнаго быть надежнымъ совѣтникомъ въ сомнительныхъ случаяхъ. Пусть предлагаемая книжка хоть немного приблизится къ этой цѣли.

Авторъ считаетъ себя обязаннымъ выразить свою благодарность цѣлому ряду сотоварищей по специальности, которые ему помогали цѣнными совѣтами и исполненіемъ рисунковъ, а также фирмамъ А. Наше, В. и Х. Зейбертъ, Фойгтъ и Хохгезангъ и К. Цейсъ, любезно представившимъ автору клише для изображенія ихъ аппаратовъ.

*Э. Вейншенкъ.*



## ВВЕДЕНІЕ.

При изслѣдованіи неорганической природы не приходится считаться съ тѣмъ неизмѣримымъ количествомъ формъ, какое мы имѣемъ при изслѣдованіи органическихъ тѣлъ, строеніе которыхъ иногда настолько сложно, что даже сильнѣйшіе объективы нашихъ современныхъ микроскоповъ оставляютъ еще много неразрѣшенныхъ загадокъ. Рядъ формъ неорганическихъ тѣлъ, наоборотъ, весьма ограниченъ и только въ рѣдкихъ случаяхъ, при изслѣдованіи этихъ тѣлъ, намъ приходится прибѣгать къ особенно сильнымъ увеличеніямъ; только при весьма неблагоприятныхъ обстоятельствахъ мы имѣемъ дѣло съ объектами столь незначительной величины, что ихъ нельзя достаточно ясно наблюдать при увеличеніи въ нѣсколько сотъ разъ.

При безконечномъ количествѣ химическихъ соединеній, которыя мы знаемъ по сію пору и число которыхъ увеличивается ежедневно новыми открытіями, тотъ родъ микроскопическаго изслѣдованія, который примѣняется при работахъ въ области органической природы, общалъ-бы намъ мало успѣха и если-бы микроскопъ былъ только аппаратомъ, служащимъ для полученія сильныхъ увеличеній, какимъ онъ почти исключительно является для зоологовъ, ботаниковъ и медиковъ и по сіе время, то вѣроятно ни химикъ, ни минералогъ не стали бы заниматься микроскопическими изслѣдованіями.

Современный микроскопъ сдѣлался, однако, и при изслѣдованіяхъ въ неорганической области добрымъ другомъ и совѣтчикомъ; это родъ оптическаго универсальнаго аппарата, раскрывающаго намъ не только внѣшнюю форму, но и внутреннее строеніе изслѣдуемаго вещества и дающаго намъ возможность сравнительно быстро и легко достигъ тѣхъ результатовъ, которые инымъ путемъ могутъ быть достигнуты только съ большой затратой времени и труда. Преобразование микроскопа въ поляризационный инструментъ и сдѣланныя въ немъ за послѣднія 30 лѣтъ многочисленныя улучшенія позволили ввести его въ лабораторію минералога и химика, но, повидимому, все еще не настолько, какъ бы онъ этого заслуживалъ, благодаря своей разносторонности. Особенно мало еще оцѣнено въ химіи, синтетической и аналитиче-



ской, то могущественное вспомогательное средство которое микроскопъ даетъ въ руки химику, а между тѣмъ во многихъ случаяхъ невозможно, какимъ-либо инымъ путемъ, помимо микроскопа, вызвать быстро и отчетливо то или другое характерное явленіе въ к. н. веществѣ. Достоверно распознавши это явленіе, мы этимъ самымъ опредѣляемъ данное вещество и дѣлаемъ нужнымъ продолжительное его испытаніе.

Прежде всего микроскопическіе методы оказали услугу изслѣдованію горныхъ породъ, петрографіи, и эта послѣдняя тѣми громадными успѣхами, которыхъ она достигла въ послѣднюю треть XIX-го столѣтія, обязана исключительно микроскопическому методу изслѣдованія. Только въ самые послѣдніе годы тѣ методы, которые оказались столь плодотворными для петрографовъ, были примѣнены во всемъ ихъ объемѣ и къ химическимъ изслѣдованіямъ, куда они, однако, получили доступъ только съ трудомъ. Но и тѣ немногочисленныя химико-микроскопическія изслѣдованія, которыя, если ихъ разсматривать съ современной точки зрѣнія, воспользовались всѣми вспомогательными средствами микроскопической техники, дали уже результаты весьма много обѣщающіе. Тотъ, кто имѣлъ случай внимательно изучить методы микроскопическаго анализа, долженъ будетъ признаться, что съ этимъ анализомъ, при нѣкоторомъ навыкѣ, намъ дается въ руки весьма пригодное средство, чтобы необычайно быстро, легко и вѣрно, опредѣлить составъ к. н. вещества, даже при незначительныхъ его количествахъ. И все таки оптическіе методы были только въ очень незначительной степени примѣнены на этой плодотворной почвѣ. Еще менѣе воспользовалась микроскопическими методами синтетическая химія, хотя для органика, который теперь едва уже можетъ разобраться въ громадномъ разнообразіи соединеній, польза отъ этихъ методовъ была-бы въ особенности велика, еслибъ ему было дано въ руки средство, которое позволило бы быстро и вѣрно идентифицировать получаемыя соединенія. При нѣкоторомъ навыкѣ, можно весьма быстро съ подробностью изслѣдовать всѣ оптическія свойства кристаллическаго осадка; между тѣмъ, если прослѣдить въ химической литературѣ обычныя данныя, касающіяся большей частью, весьма поверхностно, и притомъ только простѣйшихъ морфологическихъ свойствъ, данныя, которыя къ тому же очень часто являются какъ разъ наименѣе характерными признаками к. н. вещества, то мы признаемъ справедливымъ, что химику самымъ настоящимъ образомъ должно быть рекомендовано упражненіе въ микроскопической Technikѣ.

Методы изслѣдованія, которые въ этомъ отношеніи приходится примѣнять химику, взяты изъ петрографіи, хотя соотвѣтствующій матеріалъ и весьма различенъ въ обѣихъ этихъ наукахъ, Петрографъ находится въ гораздо болѣе невыгодномъ положеніи въ силу того, что онъ, при изслѣдованіи шлифовъ горныхъ породъ, почти всегда имѣетъ дѣло съ совершенно произвольно ориентированными



разрѣзами, тогда какъ въ кристаллическихъ порошкахъ, съ которыми приходится имѣть дѣло химику, отдѣльные кристаллы принимаютъ на предметномъ стеклышкѣ б. ч. опредѣленное положеніе; это весьма облегчаетъ важное опредѣленіе кристаллографической системы—вопросъ, который во многихъ случаяхъ можетъ быть рѣшенъ петрографомъ только съ малою достовѣрностью. Съ другой стороны, петрографъ имѣетъ дѣло съ многочисленными, различно ориентированными разрѣзами одного и того же минерала, такъ что онъ можетъ установить его свойства по самымъ разнообразнымъ направленіямъ; единичные же кристаллы, которые долженъ изслѣдовать химикъ, б. ч. принимаютъ, вслѣдствіе ихъ образованія, почти одно и то же положеніе и поэтому не представляютъ изслѣдователю возможности проникнуть во всѣ детали оптической природы кристалловъ. Для изслѣдованій въ этихъ обоихъ направленіяхъ безусловно требуется нѣкоторое знаніе физической кристаллографіи, примѣненіе которой къ микроскопическимъ изслѣдованіямъ является дѣломъ болѣе или менѣе продолжительнаго упражненія.

Хотя увеличеніе само по себѣ слѣдуетъ считать только второстепенной задачей поляризационнаго микроскопа, и другія оптическія приспособленія составляютъ болѣе существенную его часть, тѣмъ не менѣе первымъ требованіемъ, которое мы должны предъявить къ инструменту будетъ то, чтобы комбинаціи линзъ были по возможности безукоризненны. По возможности ахроматичное, большое и ровное поле зрѣнія, вмѣстѣ съ возможно большей свѣтосилой объективовъ и окуляровъ—вотъ первое, что минералогъ, также какъ ботаникъ, медикъ и зоологъ, долженъ требовать отъ микроскопа. Дѣйствительно, многочисленные оптическіе методы, которые примѣняются въ микроскопической technikѣ, могутъ быть осуществлены только при помощи этихъ линзъ, и потому, наблюденіе изображенія даннаго предмета, и сами эти методы, все это стоитъ въ зависимости отъ достоинства линзъ.







## Поляризационный микроскопъ.

Всякій микроскопъ состоитъ изъ тубуса, въ верхнюю часть котораго вставляется окуляръ, а въ нижней прикрѣпляется объективъ, и изъ такъ называемаго предметнаго столика, по направленію къ которому тубусъ можетъ перемѣщаться при помощи зубчатки и бокового винта и при помощи микрометрическаго винта; въ столикѣ имѣется центральное отверстіе, въ которомъ помѣщается освѣтительный аппаратъ, получающій свѣтъ при помощи находящагося подъ нимъ зеркала, легко перемѣщаемаго во всѣхъ направленіяхъ.

Микроскопомъ въ широкомъ смыслѣ слова называютъ всякій инструментъ, при помощи котораго можно видѣть близкіе предметы въ увеличенномъ видѣ. Поэтому простѣйшимъ микроскопомъ будетъ двояковыпуклая линза, которая показываетъ намъ въ увеличенномъ видѣ предметы, отстоящіе отъ нея на разстояніи меньшемъ, чѣмъ ея фокусное разстояніе; такую линзу обыкновенно называютъ лупой. Гораздо дѣеспособнѣе такъ назы-

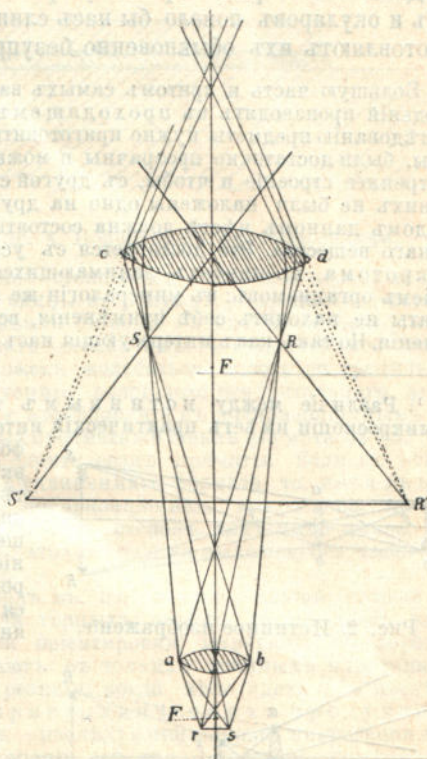


Рис. 1.

Ходъ лучей въ сложномъ микроскопѣ. Всякій сложный микроскопъ, въ общепитіи обыкновенно неудачно называемый просто микроскопомъ. Въ простѣйшей своей формѣ онъ состоитъ изъ двухъ линзъ (рис. 1). Одна изъ нихъ *ab*, съ короткимъ фокуснымъ разстояніемъ, обра-



щена къ предмету и называется объективомъ. Она даетъ въ  $SR$ , увеличенное истинное<sup>1)</sup> изображение, въ обратномъ положеніи, маленькаго предмета  $rs$ , находящагося отъ нея на разстояніи нѣскольکو большемъ, чѣмъ ея фокусное разстояніе. При помощи окуляра  $cd$ , находящагося отъ этого изображения на разстояніи меньшемъ, чѣмъ его фокусное разстояніе, это изображение, подобно предмету, самоиспускающему свѣтъ, еще разъ увеличивается и является въ  $S'R'$  въ качествѣ мнимаго изображения, все еще имѣющаго положеніе обратное по отношенію къ предмету  $rs$ ; поэтому въ микроскопѣ мы видимъ предметы всегда обратными; наблюдаемое въ микроскопѣ изображение дѣйствуетъ на глазъ, какъ предметъ, удаленный на 250 мм. Поэтому, для опредѣленія увеличенія нужно всегда дѣлать сравненіе съ этимъ разстояніемъ.

Дальнѣйшее разсмотрѣніе устройства современныхъ объективовъ и окуляровъ повело бы насъ слишкомъ далеко. Лучшія фирмы изготовляютъ ихъ обыкновенно безупречно.

Большую часть и притомъ самыхъ важныхъ микроскопическихъ наблюденій производятъ въ проходящемъ свѣтѣ. Поэтому подлежащіе изслѣдованію предметы нужно приготовить такъ, чтобы они, съ одной стороны, были достаточно прозрачны и можно было-бы ясно различить ихъ внутреннее строеніе и чтобы, съ другой стороны, различныя недѣлимые въ нихъ не были наложены одно на другое т. е. плоскость объекта въ каждомъ данномъ мѣстѣ должна состоять только изъ одного слоя однороднаго вещества. Это достигается съ успѣхомъ при помощи такъ наз. микротомовъ въ наукахъ, занимающихся микроскопическимъ изслѣдованіемъ организмовъ; въ минералогіи же и петрографіи столь тонкіе препараты не находятъ себѣ примѣненія, вслѣдствіе трудности ихъ приготовления. Но такъ какъ интересующія насъ образования обладаютъ далеко

<sup>1)</sup> Различіе между истиннымъ и мнимымъ изображеніемъ въ микроскопѣ имѣетъ практическій интересъ для проектированія и для фотографіи. Выпуклая линза проектируетъ истинное изображеніе

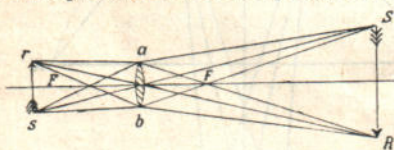


Рис. 2. Истинное изображение.

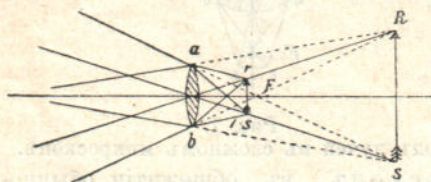


Рис. 3. Мнимое изображение.

не можетъ быть проектировано (рис. 3).

тѣхъ предметовъ, которые находятся отъ нея на разстояніи большемъ, чѣмъ ея фокусное разстояніе — на противоположной сторонѣ, въ обратномъ положеніи, за ея двойнымъ фокуснымъ разстояніемъ, гдѣ это изображеніе можетъ быть уловлено и воспроизведено на экранѣ (рис. 2). Если же предметъ удаленъ отъ линзы на разстояніе меньшее, чѣмъ ея фокусное разстояніе, то лучи уже не соединяются въ точкѣ, лежащей по другую сторону линзы, а изображеніе появляется въ истинномъ положеніи на той же сторонѣ, что и предметъ; это будетъ мнимое изображеніе, которое



не столь тонкимъ строеніемъ, то обыкновенно вышлифованный изъ горной породы или изъ минерала слой въ 0,03—0,05 мм. толщиной является вполне достаточнымъ; только въ очень рѣдкихъ случаяхъ и при объектахъ съ особенно тонкой структурой, является необходимость въ слояхъ въ 0,01 мм. и тоньше, для болѣе детальнаго изслѣдованія. Поэтому, т. наз. шлифы для микроскопическихъ изслѣдованій обыкновенно приготавливаются со средней толщиной въ 0,03—0,05 мм.; шлифы подобной толщины оказываются наиболѣе благоприятными для изслѣдованія также и по другимъ причинамъ, о которыхъ будетъ рѣчь впереди. Шлифы приклеиваются обыкновенно при помощи канадскаго бальзама на предметное стекло и могутъ затѣмъ быть покрыты, также при посредствѣ канадскаго бальзама, тонкимъ „покрывнымъ стеклышкомъ“, толщина котораго, соответственно малому фокусному расстоянію болѣе сильныхъ объективовъ, не должна превышать 0,10—0,15 мм. При слабыхъ объективахъ толщина покрывнаго стеклышка имѣетъ мало значенія; сильные же объективы, напротивъ, корригированы на извѣстную толщину покрывнаго стеклышка и даютъ при другой толщинѣ стеклышка менѣе рѣзкія изображенія. Иногда, для нѣкоторыхъ специальныхъ изслѣдованій (главнымъ образомъ для опредѣленія свѣтопреломленія), препараты оставляютъ непокрытыми. При очень тщательномъ исполненіи достигается довольно равномерная толщина шлифовъ, нѣсколько уменьшающаяся къ краямъ, какъ это видно на рис. 4, изображающемъ поперечный разрѣзъ края шлифа, при увеличеніи въ 30—40 разъ: *a* есть покрывное стеклышко, *b* шлифъ, неровныя наружныя стороны котораго ясно видны на рисункѣ, *d* предметное стекло. Самый шлифъ заключенъ съ обѣихъ сторонъ въ канадскій бальзамъ *c*. Форматъ и величина предметнаго стекла имѣетъ существенное значеніе, тогда какъ толщина его можетъ колебаться вплоть до предѣльной величины, зависящей отъ фокуснаго расстоянія освѣтительнаго аппарата. Наиболѣе пригодными для изслѣдованій съ поляризаціоннымъ микроскопомъ оказались въ квадратныя предметныя стекла формата 32×32 мм., которыя теперь въ петрографіи почти вездѣ приняты. Если же этимъ стекламъ предпочитаютъ стекла удлиненнаго формата, то, имѣя въ виду вращеніе предметнаго столика поляризаціоннаго микроскопа, не слѣдуетъ выбирать слишкомъ длинныхъ стеколъ, такъ какъ иначе, при вращеніи столика, легко рукой натолкнуться на выдающуюся часть препарата и этимъ смѣститъ его <sup>1)</sup>).

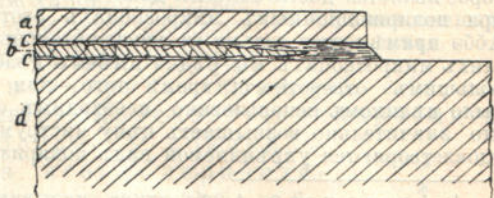


Рис. 4. Поперечный разрѣзъ шлифа.

Изслѣдованіе горныхъ породъ въ порошокъ, самый старый методъ микроскопическаго анализа горныхъ породъ, также даетъ часто хорошіе результаты для быстрой ориентировки; минералы съ хорошей спайностью, часто обнаруживаютъ въ тонкихъ спайныхъ пластинкахъ очень характерныя оптическія реакціи; когда дѣло идетъ объ изслѣдованіи и существенныхъ кристаллическихъ продуктохъ, то легче всего достигнуть цѣли, изслѣдуя при помощи микроскопа кристаллы, выдѣляющіеся при испареніи изъ капли раствора, помѣщенной на предметномъ столикѣ или если подвергнуть изслѣдованію порошокъ, состоящій изъ мельчайшихъ кристалликовъ, заключивъ его въ канадскій бальзамъ или въ какую-нибудь другую жидкость.

<sup>1)</sup> [При изслѣдованіяхъ съ т. наз. федоровскимъ универсальнымъ столикомъ (см. ниже) употребляются круглыя предметныя стекла діаметромъ въ 2 сант. *Прим. перев.*]



Нужно сказать еще нѣсколько словъ объ освѣтительномъ аппаратѣ. Такъ называемый освѣтительный аппаратъ, который служитъ для того, чтобы усиливать свѣтъ, проходящій черезъ препаратъ, представляетъ собой ничто иное, какъ обратный объективъ самой простой конструкции. Для примѣненія болѣе сильныхъ системъ освѣтительный аппаратъ долженъ имѣть по крайней мѣрѣ ту же апертуру<sup>1)</sup>, что и сама объективная система, если при помощи освѣтительнаго аппарата хотятъ использовать всю силу объективныхъ системъ. Къ освѣтительному аппарату не предъявляется особенно высокихъ требованій, ни въ отношеніи его ахроматичности (только для микрофотографіи целесообразно пользоваться ахроматическимъ освѣтительнымъ аппаратомъ), ни въ отношеніи рѣзкости изображенія: фокусное же его разстояніе должно быть значительно, въ виду толщины предметныхъ стеколъ. Обыкновенно въ качествѣ освѣтительныхъ аппаратовъ выбираютъ сравнительно простые комбинаціи линзъ. Большой освѣтительный аппаратъ Аббэ соединяетъ въ себѣ преимущество большой апертуры ( $= 1,40$  въ томъ случаѣ, когда онъ употребляется въ качествѣ иммерсии), соответствующей сильнѣйшимъ иммерсионнымъ объективамъ—съ большимъ освѣщеннымъ полемъ зрѣнія, которое является достаточнымъ даже и при слабыхъ объективахъ. Однако при поляризаціонныхъ микроскопахъ этотъ освѣтительный аппаратъ Аббэ примѣняется только въ исключительныхъ случаяхъ, такъ какъ въ этихъ микроскопахъ мы рѣдко имѣемъ дѣло съ объективами съ такимъ большимъ отверстіемъ; кромѣ того,—для того, чтобы это отверстіе было цѣлкомъ использовано, необходимъ очень большой поляризаторъ, что значительно возвышаетъ цѣну инструмента. Поэтому обыкновенно удовлетворяются укрѣпленной надъ поляризаторомъ освѣтительной лин-

<sup>1)</sup> Апертурой  $A$  объектива называютъ, согласно Аббэ, произведение синуса половины угловой величины отверстія (Öffnungswinkel) и объектива на показатель преломленія  $n$  среды, заключенной между объектомъ и системой линзъ. Поэтому для всѣхъ сухихъ системъ  $A < 1$ , такъ какъ  $n=1$  и  $\sin u$  всегда  $< 1$ . При иммерсионныхъ же системахъ  $A$  возрастаетъ до 1,40, для обычныхъ конструкций, у которыхъ въ качествѣ иммерсионной жидкости является кед-

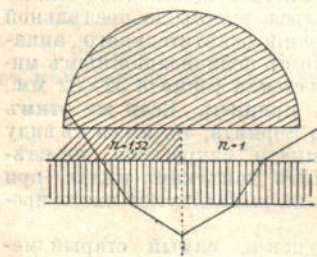


Рис. 5. Гомогенная иммерсія и сухая система.

ровое масло съ  $n=1,515$ . Рис. 5 показываетъ ходъ лучей при пользованіи сухой системой (справа) и иммерсіей (слѣва). Новыя конструкции объективовъ изъ болѣе сильно преломляющаго стекла съ бромнафталиномъ ( $n=1,656$ ) обладаютъ апертурой до 1,60, причемъ, однако, надо замѣтить, что одно повышеніе показателя преломленія иммерсионной жидкости не принесетъ пользы, если одновременно съ этимъ каждая находящаяся между объектомъ и нижней линзой (Frontlinse) объектива среда (главнымъ образомъ покровное и предметное стекло) не испытаетъ того же повышенія показателя преломленія. Далѣе, какъ видно изъ рис. 5, примѣненіе болѣе сильно преломляющихъ свѣтъ жидкостей, при пользованіи обычными иммерсионными системами, является безцѣльнымъ, потому что въ такомъ случаѣ самъ показатель преломленія нижнихъ линзъ этихъ объективовъ будетъ ниже показателя преломленія жидкости и апертура слѣд. опредѣляется самымъ низкимъ показателемъ преломленія, который только можетъ быть найденъ на какомъ нибудь мѣстѣ между освѣтительнымъ аппаратомъ и нижней линзой (включая эту послѣднюю). Апертура объектива опредѣляетъ его увеличеніе, его дѣеспособность и свѣтосилу, а также и величину поля зрѣнія, при изслѣдованіи въ сходящемся поляризованномъ свѣтѣ.



зой, которая равномерно просвѣтляетъ большое поле зрѣнія слабыхъ объективовъ и затѣмъ другой съемной линзой или комбинаціей линзъ, т. наз. конденсоромъ, дающимъ вмѣстѣ съ вышеупомянутой линзой систему, которая будучи примѣняема въ качествѣ иммерсии, обладаетъ апертурой въ 1,25—1,27, т. е. является какъ разъ достаточной для весьма рѣдко примѣняемыхъ при минералогическихъ изслѣдованіяхъ иммерсіонныхъ системъ съ апертурой = 1,27.

Поляризаціонный микроскопъ отличается отъ обыкновеннаго микроскопа прежде всего приспособленіями для полученія прямолинейно поляризованнаго свѣта. Обыкновенный свѣтъ совершаетъ свои колебанія во всѣхъ плоскостяхъ нѣкотораго пучка плоскостей, осью котораго служитъ направленіе распространенія свѣта, какъ это схематически изображено на рис. 6, причемъ плоскости колебаній быстро смѣняются одна за другой. Прямолинейно поляризованный лучъ, наоборотъ, колеблется постоянно въ одной и той же плоскости (рис. 7) и плоскость къ ней перпендикулярную, въ которой, слѣд., лежатъ полюсы первой, называютъ плоскостью поляризаціи свѣта, иными словами: плоскость поляризаціи свѣтового луча всегда перпендикулярна къ плоскости его колебаній.



Рис. 6. Обыкновенный лучъ свѣта.

Обыкновенный свѣтъ превращается черезъ отраженіе или преломленіе въ свѣтъ отчасти поляризованный; полнѣе всего совершается это превращеніе черезъ отраженіе подъ извѣстнымъ, зависящимъ отъ отражающаго вещества угломъ, который характеренъ тѣмъ, что отраженная часть свѣта, падающаго подъ этимъ угломъ, перпендикулярна къ преломленной его части; этотъ уголъ называется поляризаціоннымъ угломъ даннаго вещества (для обыкновеннаго стекла онъ равенъ около  $57^{\circ}$ ). Черезъ повторное отраженіе подъ этимъ угломъ поляризація дѣлается совершеннѣе и поэтому для этой цѣли пользуются стопочками тонкихъ стеклянныхъ пластинокъ, которыя даютъ довольно хорошо поляризованный свѣтъ.



Рис. 7. Поляризованный лучъ.

Лучъ обыкновеннаго свѣта  $L$  (рис. 8), который падаетъ подъ угломъ поляризаціи на стопочку стеклянныхъ пластинокъ, отчасти отражается отъ нея въ качествѣ прямолинейно поляризованнаго луча  $P$ , плоскость колебаній котораго перпендикулярна къ плоскости паденія  $LOB$  свѣта. Съ другой стороны преломленная часть свѣтового луча  $P'$ , проходящая черезъ стопочку стеклянныхъ пластинокъ, является также поляризованной, хотя и въ незначительной степени; плоскость колебаній этого преломленного луча перпендикулярна къ плоскости колебаній луча отраженнаго, слѣд. совпадаетъ съ плоскостью паденія свѣта. Поляризація пре-



ломленного луча тѣмъ совершеннѣе, чѣмъ больше уголъ паденія свѣта. Поэтому, полученная черезъ преломленіе поляризація можетъ мѣшать наблюденіямъ подъ микроскопомъ, именно при очень сильныхъ объективахъ, когда лучи свѣта проходятъ очень косо.

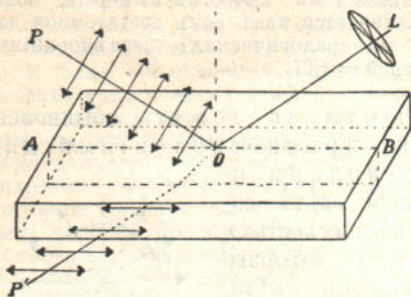


Рис. 8. Поляризація черезъ отраженіе и преломленіе.

Поляризація свѣта, достигнутая черезъ отраженіе или преломленіе, отнюдь не является настолько совершенной, чтобы быть пригодной для производственныхъ изслѣдованій въ поляризованномъ свѣтѣ и поэтому свѣтомъ, поляризованнымъ черезъ отраженіе, пользуются только въ самыхъ простыхъ и дешевыхъ инструментахъ,

а у лучшихъ поляризаціонныхъ микроскоповъ имѣются николевы призмь, которые даютъ свѣтъ вполне поляризованный.



Рис. 9. Устройство николевой призмь.

Устройство николевыхъ призмъ или николей основывается на свойствѣ двупреломляющихъ кристалловъ разлагать естественный лучъ свѣта на два поляризованныхъ перпендикулярно другъ къ другу луча, которые отклоняются различнымъ образомъ. Первоначальная, данная Николемъ форма призмь (рис. 9) является въ видѣ длиннаго, выбитаго по спайности куска известковаго шпата, обѣ конечныя плоскости котораго сначала сошлифовываются такъ, что образуютъ съ длинными ребрами вмѣсто угла въ  $71^\circ$ , уголъ всего въ  $68^\circ$ . Затѣмъ, известковый шпатель разрѣзается перпендикулярно къ этимъ искусственнымъ гранямъ, и обѣ половины затѣмъ опять склеиваются канадскимъ бальзамомъ въ надлежащемъ положеніи.

Изъ двухъ поляризованныхъ во взаимно перпендикулярныхъ плоскостяхъ лучей, проходящихъ черезъ одну половину призмь и достигающихъ пограничнаго слоя, состоящаго изъ канадскаго бальзама, одинъ лучъ *o* преломляется сильнѣе, чѣмъ другой *e*. Такъ какъ въ томъ направленіи, въ которомъ совершаетъ свои колебанія лучъ *с*, известковый шпатель представляетъ собой среду оптически гораздо болѣе плотную, чѣмъ канадскій бальзамъ, лучъ этотъ, при томъ значительномъ углу, подъ которымъ онъ падаетъ на слой бальзама, испытываетъ полное внутреннее отраженіе и отклоняется въ сторону отъ хода лучей. Напротивъ, другой лучъ *e*, который обладаетъ лучепреломленіемъ, стоящимъ гораздо ближе къ лучепреломленію канадскаго бальзама и падаетъ на



пограничный слой бальзама подъ меньшимъ угломъ, проходить насквозь черезъ всю призму. Такимъ образомъ николева призма даетъ намъ свѣтъ поляризованный въ одной плоскости, плоскость колебаній котораго есть плоскость колебаній луча  $e$ , который колеблется параллельно короткой діагонали ромбическаго сѣченія куска известковаго шпата, выбитаго по спайности.

Эта первоначальная форма николевой призмы впоследствии многократно видоизмѣнялась; теперь въ особенности въ ходу предложенное Гартнакомъ и Празмовскимъ видоизмѣненіе этой призмы, при которомъ, помимо выгоды происходящей отъ прямой (а не наклонной) конечной плоскости, можно въ болѣе широкихъ размѣрахъ использовать известковый шпатъ.

Въ послѣднее время были также неоднократно рекомендованы призмы изъ натровой селитры, которая по своимъ оптическимъ свойствамъ еще болѣе пригодна для такихъ аппаратовъ, но, повидимому, вслѣдствіе сильной гигроскопичности матеріала, эти призмы нашли мало примѣненія. Призмы же, построенныя изъ комбинаціи стекла съ известковымъ шпатомъ или натровой селитрой, обѣщаютъ большой успѣхъ; онѣ дѣлаются такъ, что верхняя часть николя готовится изъ такого сорта стекла, лучепреломленіе и свѣторазсѣяніе котораго, по возможности, совпадали бы съ лучепреломленіемъ и свѣторазсѣяніемъ луча  $e$  въ известковомъ шпатѣ, или же между двумя стеклянными клиньями вклеиваются тонкія спайныя пластинки соответствующаго двоякопреломляющаго минерала. При помощи такихъ комбинацій можно достигнуть еще болѣе совершенной поляризаціи свѣта, чѣмъ съ помощью призмъ изъ одного известковаго шпата, у которыхъ известную роль всегда играетъ свѣтъ, отраженный отъ краевъ. Но такъ какъ совпаденіе коэффициентовъ преломленія и свѣторазсѣянія еще не вполне достигнуто, то эти призмы могутъ быть примѣняемы только въ качествѣ поляризаторовъ, но не анализаторовъ, потому что онѣ не вполне ахроматичны. Названіе „николь“ сохраняется вообще для всѣхъ этихъ конструкций.

Рис. 10 (стр. 12) даетъ изображеніе простаго поляризаціоннаго микроскопа, по конструкціи В. и Х. Зейбертъ, разрѣзъ котораго представленъ на рис. 11 (стр. 13). Освѣщеніе при помощи зеркальца, окуляръ и объективъ, движеніе тубуса при помощи зубчатки и микрометрическаго винта—все это остается такимъ же, какъ и у обыкновенныхъ микроскоповъ. Но, по сравненію съ обыкновенными микроскопами, поляризаціонные обладаютъ нѣкоторыми отличіями въ отдѣльных частяхъ. Прежде всего въ фокусѣ Гюйгенскаго окуляра укрѣпленъ нитяной крестъ  $F$ , состоящій изъ двухъ взаимно перпендикулярно натянутыхъ паутинныхъ нитей. точная ориентировка котораго по отношенію къ инструменту обозначается особымъ штифтикомъ, находящимся снаружи на окулярѣ и входящимъ въ вырѣзъ, помѣщающійся на верхнемъ концѣ тубуса.

Та часть тубуса, въ которой заключается окуляръ, выдвигается и имѣетъ подъ окуляромъ отверстіе  $S$  для вдвиганія линзы Бертрана-Амичи. Барабанъ  $m$  микрометрическаго винта для тонкой установки предмета, снабженъ, по край-



ней мѣръ у большихъ инструментовъ, дѣленіями, для того, чтобы можно было точно измѣрять вертикальное перемѣщеніе объектива,

совершаемое при помощи микрометрическаго винта. Уже въ силу одного этого, цѣлесообразно, если барабанъ микрометрическаго винта помѣщенъ вверху штатива, а не внизу, какъ это дѣлалось у старыхъ микроскоповъ.

Зубчатка при винтѣ для грубой установки должна имѣть значительную высоту, изъ за частаго употребленія вращательныхъ аппаратовъ, достигающихъ и ной разъ весьма большой высоты; устройство должно быть такое, чтобы объективъ могъ двигаться въ вертикальномъ направленіи въ широкихъ предѣлахъ, а часть *A* штатива, которая поддерживаетъ тубусъ должна имѣть по возможности большой вырѣзь, чтобы дать возможность свободнаго движенія этимъ вспомогательнымъ аппаратамъ, при ихъ вращеніи на предметномъ столикѣ.

Внутри тубуса обыкновенно помѣщается никелева призма, анализаторъ *Q*, который можетъ быть выдвинутъ изъ трубы— въ горизонтальномъ направленіи. Цѣлесообразно, если анализаторъ можетъ быть вращаемъ при помощи винта *f* на 90°, причемъ дѣленія на кругѣ указываютъ углы вращенія. Въ другихъ случаяхъ анализаторъ не вращается и тогда пользуются другой никелевой призмой *W*, которая насаживается на окуляръ и можетъ вращаться; для отсчета этого вращенія окуляръ имѣетъ кольцо съ дѣленіями *R*. Последняя форма анализатора имѣется только у ста-

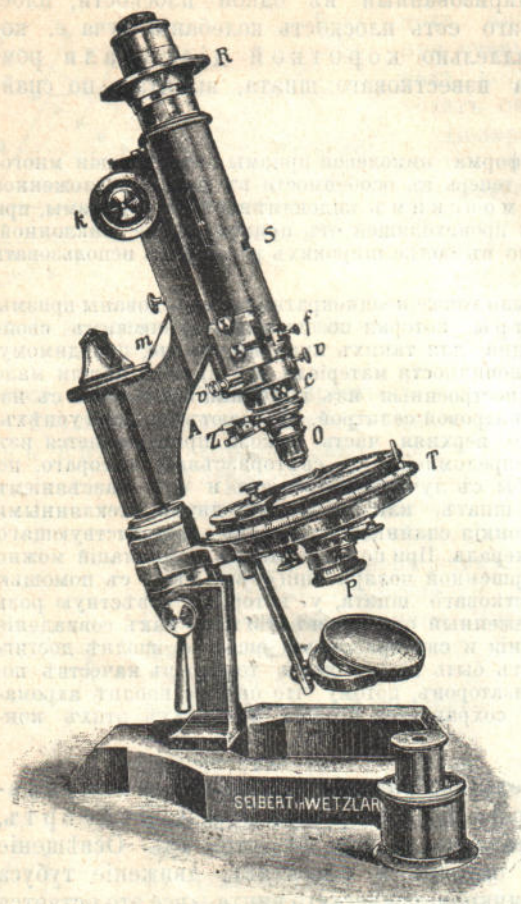


Рис. 10.

Поляризаціонный микроскопъ В. и Х. Зейберта  
въ Вецларѣ.



рыхъ моделей, теперь уже всегда предпочитается анализаторъ, заключенный въ тубусъ.

Къ нижней части тубуса прикрѣпляется объективъ *O*, лучше всего при помощи т. наз. объективныхъ щипцовъ *Z*. Надъ этими щипцами въ тубусъ находится отверстие *c*, въ которое вдвигаются компенсаторы, заключенные между узенькими стеклянными пластинками. Внутренняя труба микроскопа, которая вставляется въ тубусъ и къ которой прикрѣпляются объективы, можетъ быть перемѣщаема на минимальное разстояніе въ горизонтальномъ направленіи при помощи двухъ микрометрическихъ винтовъ *v* и *v'*, дѣйствующихъ перпендикулярно другъ къ другу и имѣющихъ противоположно дѣйствующія пружины; это приспособленіе устроено для того, чтобы послѣ каждой перемѣны объектива можно было точно центрировать ось объектива по отношенію къ оси вращенія предметнаго столика; поэтому эти винты называются центрировальными винтами.

У другихъ моделей можетъ быть центрированъ столикъ микроскопа, т. е. вмѣсто того, чтобы устанавливать ось объектива по оси вращенія столика, перемѣщаютъ центръ столика при помощи двухъ аналогичныхъ центрировальныхъ винтовъ. Однако приспособленіе для центрированія столика едва ли можно рекомендовать, т. к. оно значительно нарушаетъ устойчивость его, съ чѣмъ весьма приходится считаться, въ особенности при сильныхъ увеличеніяхъ.

Ввиду того, что необходимость частыхъ центрированій отнимаетъ очень много времени, въ особенности при работѣ со старинными моделями, у которыхъ объективы исключительно ввинчиваются, было построено нѣсколько новыхъ моделей, дѣлающихъ подобное центрированіе совершенно излишнимъ. Такъ у изображенной на рис. 12 французской модели (Наше) объективъ и столикъ соединены массивнымъ плечомъ и могутъ вра-

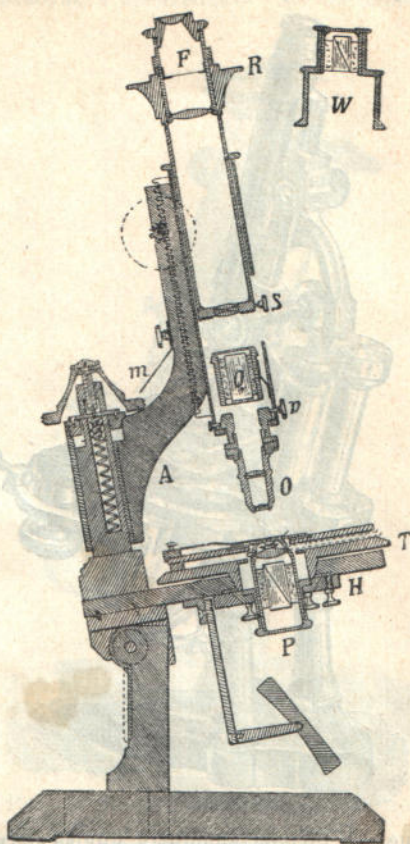


Рис. 11.

Разрѣзъ поляризаціоннаго микроскопа.



щаться одновременно, чѣмъ, конечно, исключается всякое эксцентричное вращеніе <sup>1)</sup>).

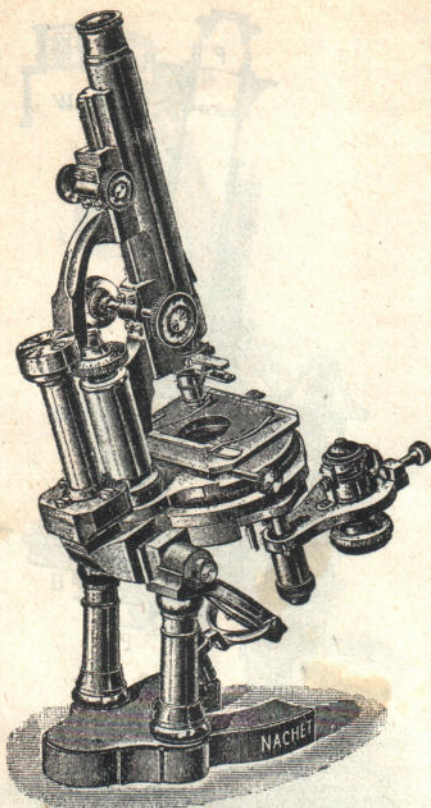


Рис. 12. Поляризаціонный микроскопъ по А. Наше въ Парижѣ.

вращается вокругъ вертикальной оси и имѣетъ на краю дѣленія, позволяющія по отмѣткѣ отсчитывать уголъ поворота. Часто эта отмѣтка дѣлается въ видѣ ноніуса, что, однако, вообще является безцѣльнымъ, такъ какъ точность микроскопическихъ измѣреній слишкомъ мала, чтобы давать величины съ точностью болѣе  $\frac{1}{4}^\circ$  а между тѣмъ эта величина еще можетъ быть легко опредѣляема на глазъ. Далѣе, предметный столикъ имѣетъ рядъ отверстій, служащихъ для помѣщенія вспомогательныхъ аппаратовъ въ опредѣленномъ положеніи. Таковы напр. предметные зажимы, которые служатъ для укрѣпленія объекта при наклонномъ положеніи микроскопа; изъ нихъ въ особенности можно рекомендовать тѣ, которые имѣютъ форму, изображенную на рис. 14, т. к. они въ то же время позволяютъ быстро установить въ центрѣ поля зрѣнія отмѣченныя мѣста препарата. Далѣе, цѣлесообразно, если предметный столикъ можетъ быть закрѣпленъ въ любомъ положеніи, при помощи зажимнаго винта.

[Новѣйшая конструкція, избѣгающая того же неудобства, была впервые изготовлена въ Англіи и въ послѣднее время изготавливается Фуассомъ. Какъ видно на рис. 13, представляющѣмъ собой большую модель (№ 1 а) Фуэсса, здѣсь оба николя могутъ вращаться одновременно. Для этого служатъ стержни S и S', изъ которыхъ послѣдній двигается въ полости перваго, при поднятіи и опусканіи тубуса, и зубчатая колеса г и г'. Вращая, при помощи кружка, находящаго подъ г, стержни, мы приводимъ одновременно во вращеніе шестерни Z и Z', стержни и оба николя. Предметъ остается неподвижнымъ на предметномъ столикѣ. Это приспособленіе имѣетъ большое значеніе при опредѣленіи угловъ погасанія.

*Примѣч. перев.]*

Модели этой послѣдней конструкціи нашли себѣ большое примѣненіе, въ особенности при работахъ съ вращательными аппаратами, о которыхъ будетъ сказано въ концѣ книги, и поэтому изготавливаются въ различныхъ видахъ.

<sup>1)</sup> Вмѣсто микроскопа съ одновременно вращающимися николями фабрики Фойгта и Хохгензанга, изображеннаго въ нѣмецкомъ изданіи этого руководства, здѣсь на рис. 13 изображена болѣе распространенная модель фабрики Фуэсса. *Примѣч. перев.*



Для изслѣдованій преимущественно съ сильными объективами къ большимъ микроскопамъ часто придѣляется столикъ съ накрестъ лежащими салазками, который позволяетъ производить горизонтальное перемѣщеніе препарата, при помощи двухъ перпендикулярно другъ къ другу расположенныхъ салазокъ, приводимыхъ въ движеніе винтами. При помощи этого приспособленія облегчается гораздо болѣе равномерный осмотръ всего препарата, т. к. при этомъ исчезаетъ зависимость отъ болѣе или менѣе произвольныхъ передвиженій препарата рукой. Можно также пользоваться столикомъ, въ качествѣ искателя, при помощи, дѣлений, нанесенныхъ на салазкахъ, замѣчая положеніе дѣлений при опредѣленномъ положеніи объекта на столикѣ.

Подъ столикомъ на модели, изображенной на рис. 10 и 11, находятся салазки *H* съ центральнымъ отверстіемъ, внутри котораго можетъ передвигаться въ вертикальномъ направленіи при помощи рычага трубка. Въ этой трубкѣ помѣщаются освѣтительный аппаратъ и вторая никелева призма — поляризаторъ *P*. Лучше всего, если поляризаторъ и освѣтительный аппаратъ могутъ быть по отдельности удаляемы изъ оправы трубы, т. е. если каждый изъ нихъ помѣщенъ въ отдѣльной оправѣ. Освѣтительный аппаратъ, помѣщающійся въ этой трубѣ,

обыкновенно бываетъ устроенъ очень просто: это — линза съ небольшою апертурой, на которой свободно помѣщается другая система линзъ съ большимъ отверстіемъ. т. наз. конденсоръ, который для наблюденія съ очень слабыми объективами можетъ быть зажатъ при помощи особыхъ щипцовъ, двигающихся внутри вращающагося столика, и удаленъ изъ поля зрѣнія. Когда этотъ конденсоръ помѣщенъ на поляризаторѣ и не зажатъ щипцами, онъ можетъ двигаться въ вертикальномъ направленіи вмѣстѣ съ поляризаторомъ и освѣтительнымъ аппаратомъ. Діафрагма *и* сѣ, которая обыкновенно имѣется у зоолого — медицинскихъ инструментовъ, придѣляется обыкновенно только къ большимъ

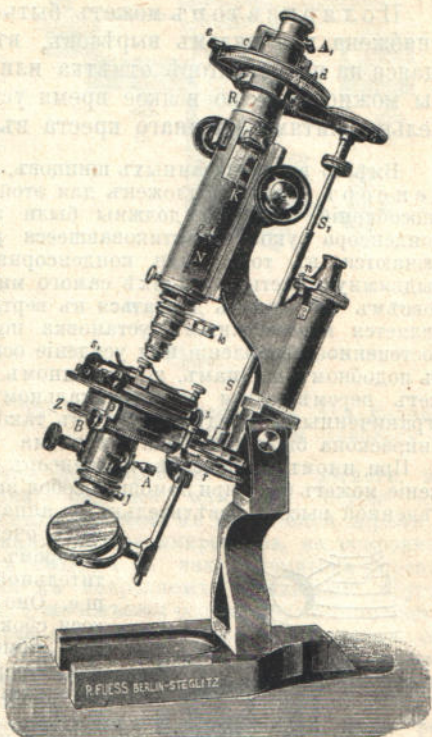


Рис. 13. Поляризаціонный микроскопъ съ одновременно вращающимися никелями (конструкція Р. Фуэсса).



Рис 14.



моделямъ поляризаціонныхъ микроскоповъ, т. к. она влечетъ за собой нѣкоторое осложненіе аппарата и можетъ быть замѣнена, въ ея дѣйствіи, вертикальнымъ движеніемъ освѣтительнаго аппарата.

Поляризаторъ можетъ быть вращаемъ и оправа бываетъ снабжена или рядомъ вырѣзовъ, въ которые вставляется имѣющаяся на поляризаторѣ отмѣтка или же дѣленіями, для того, чтобы можно было во всякое время установить поляризаторъ параллельно нитямъ нитянаго креста въ окулярѣ.

Вмѣсто вышеописанныхъ щипцовъ, позволяющихъ удалять конденсоръ, былъ предложенъ для этой же цѣли еще цѣлый рядъ приспособленій, которые должны были замѣнить неудобное выниманіе конденсора рукой практиковавшееся раньше. Приспособленія эти заключаются въ томъ, или конденсорная линза заключена въ особую выдвижную часть въ столикѣ самого микроскопа; въ такомъ случаѣ она совсѣмъ не можетъ двигаться въ вертикальномъ направленіи, а также является невозможнымъ установка по толщинѣ предметнаго стекла и постепенное ослабленіе или усиленіе освѣщенія. Или же она заключена въ подобномъ щипцамъ, но сплошномъ захватѣ, и при этомъ линза можетъ перемѣщаться въ вертикальномъ направленіи только въ очень ограниченныхъ предѣлахъ и въ такомъ случаѣ желательно, чтобы у микроскопа была присовая диафрагма.

При inomъ устройствѣ, конденсоръ сохраняя свое вертикальное движеніе можетъ быть при помощи особой зацѣпки захваченъ сбоку, на опредѣленной высотѣ освѣтительнаго аппарата, и вытнутъ наружу. Наконецъ очень простое приспособленіе, при которомъ сохраняется подвижность освѣтительной системы, было предложено Наше. Оно состоитъ изъ винта, находящагося сбоку подъ предметнымъ столикомъ, при помощи котораго можно вдвигать конденсоръ надъ остальной частью освѣтительнаго аппарата (рис. 15), на подобіе визира.

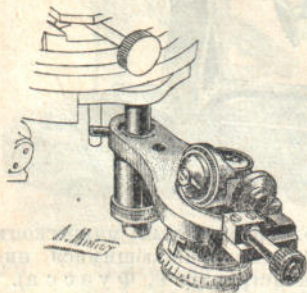


Рис. 15. Приспособленіе для удаленія конденсора по А. Наше.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, особенно при очень сильныхъ объективахъ или при изслѣдованіи объектовъ съ очень слабымъ лучепреломленіемъ, бываетъ полезно совсѣмъ удалять поляризаторъ, такъ какъ онъ поглощаетъ болѣе половины имѣющагося въ нашемъ распоряженіи свѣта. Поэтому лучше всего, если поляризаторъ вдѣланъ въ оправу отдѣльно отъ освѣтительнаго аппарата: въ такомъ случаѣ онъ отдѣльно можетъ во всякое время быть выдвинутъ изъ оправы трубы. Но такъ какъ установка поляризатора отъ руки отнимаетъ все таки довольно много времени, то В. и Х. Зейбертомъ было устроено изображенное на рис. 16. приспособленіе, благодаря которому можно выдвинуть поляризаторъ *P*, передвинувши при помощи пуговокъ *K* и *K'* находящіяся подъ освѣтительными линзами салазки, и замѣнить его цилиндромъ, въ которомъ находится присовая диафрагма *J*. Такимъ образомъ вдвиганіе и выдвиганіе поляризатора можетъ совершаться безъ всякаго измѣненія его ориентировки и при этомъ имѣется то преимущество, что инструментомъ можно въ этомъ случаѣ воспользоваться даже для тончайшихъ изслѣдованій по органической микроскопії. Благодаря этому приспособленію освѣтительный аппаратъ можетъ, при помощи винта *S*, перемѣщаться въ вертикальномъ направленіи вмѣстѣ съ салазками; конденсоръ *C* можетъ также быть выдвинутъ при помощи щипцовъ *Z*. Само собой



разумѣется, что при этой конструкціи простой освѣтительный аппаратъ можетъ быть замѣненъ аппаратомъ Абба.

Чтобы легче было найти к. н. опредѣленные части препарата, пользуются или миллиметровыми дѣлениями, нанесенными на предметномъ столикѣ по двумъ взаимно перпендикулярнымъ диаметрамъ и замѣчаютъ тѣ дѣленія, которыхъ касается препаратъ, когда найдено должное мѣсто въ препаратѣ; или же пользуются аналогичнымъ образомъ дѣлениями подвижныхъ салазокъ. Конечно, для того чтобы опять найти то же мѣсто нужно воспользоваться тѣми же дѣлениями. Поэтому лучше всего отмѣчать данное мѣсто на самомъ препаратѣ, обводя его отъ руки цвѣтнымъ кольцомъ или же пользуясь для этого особымъ приборчикомъ (Objektmarkierer). Этотъ приборчикъ прикрѣпляется на мѣсто объектива, послѣ того, какъ желаемое мѣсто препарата центрировано. Онъ имѣетъ на концѣ нѣсколько эксцентрически сидящее алмазное острие, которое можно регулировать; острие это заключено въ пружинной оправѣ и можетъ быть опущено, при опусканіи трубы микроскопа, на покровное стеклышко; послѣ этого вращаютъ столикъ съ закрѣпленнымъ препаратомъ и получаютъ вырѣзанный на покровномъ стеклышкѣ кругъ, очерчивающій желаемое мѣсто. Или же имѣется особая пружинная часть, также въ формѣ объектива, которая на концѣ снабжена круглымъ отверстиемъ, смазаннымъ масляной краской, чернилами или растворомъ шеллака (Schellack), что позволяетъ нарисовать на покровномъ стеклышкѣ препарата маленькій кружокъ.

Ложный свѣтъ т. е. происходящій отъ какого-либо рода рефлексовъ, играетъ при микроскопическихъ изслѣдованіяхъ гораздо менѣе существенную роль, чѣмъ напр. при микрофотографіи. Тѣмъ не менѣе необходимо, чтобы всѣ внутреннія части микроскопа были зачернены. Подобные рефлексы могутъ при извѣстныхъ обстоятельствахъ происходить отъ самихъ линзъ окуляра, такъ что бываетъ цѣлесообразно насаживать на окуляръ небольшую ширмочку, которая соотвѣтствуетъ продолженію оправы окулярныхъ линзъ и устраняетъ свѣтъ, кося падающій на верхнюю линзу окуляра. Съ другой стороны, свѣтъ, падающій подѣ объективомъ на препаратъ и отраженный отъ него въ тубусъ, часто значительно вредитъ микроскопированію, въ особенности при работѣ со слабыми объективами, обладающими большимъ фокуснымъ разстояніемъ. Можно избѣжать ошибокъ, происходящихъ отъ этого неудобства тѣмъ, что заслоняютъ падающій свѣтъ, держа спереди руку или тѣмъ, что пользуются черной ширмочкой, которая также удерживаетъ свѣтъ. Однако всѣ эти приспособленія должны быть устроены такъ чтобы они никоимъ образомъ не нарушали подвижности инструмента.

Подъ конецъ надо упомянуть, что работа съ микроскопомъ при прямомъ солнечномъ свѣтѣ очень вредна для глазъ и отъ этого вреднаго вліянія защищаются тѣмъ, что вкладываютъ въ освѣтительный аппаратъ кружки изъ матоваго или изъ синяго стекла. Подобными же пластинками изъ рубинового стекла пользуются въ рѣдкихъ случаяхъ, когда при микроскопическихъ изслѣдованіяхъ нуженъ однородный свѣтъ и когда нѣтъ приспособленій, чтобы получить натріевый свѣтъ.

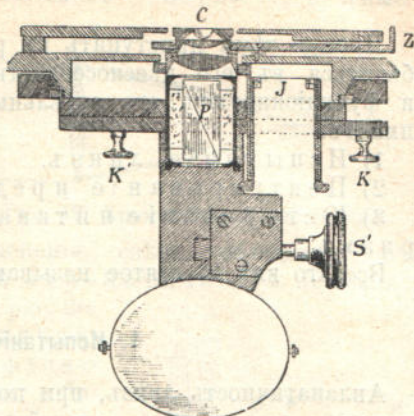


Рис. 16. Приспособленіе для удаленія поляризатора по В. Зейберту.



## Юстированіе поляризаціоннаго микроскопа.

Прежде чѣмъ приступить къ работѣ съ микроскопомъ, нужно убѣдиться въ его дѣеспособности, а также въ томъ, правильно ли функционируютъ его отдѣльныя части. Это изслѣдованіе обнимаетъ:

- 1) Испытаніе линзъ.
- 2) Центрированіе предметнаго столика.
- 3) Юстированіе нитянаго крестаниколевыхъ призмъ.

Все это вмѣстѣ взятое называютъ юстированіемъ микроскопа.

### 1. Испытаніе линзъ.

Апланатичность линзъ, при помощи которыхъ совершается наблюденіе, есть первое, что бросается въ глаза наблюдателю. Если мы будемъ разсматривать предметъ подъ микроскопомъ, то, при недостаткахъ въ апланатичности, центръ и край поля зрѣнія не могутъ быть одновременно установлены на одинаковую ясность. При слабыхъ системахъ эта ошибка будетъ только рѣдко замѣтна: при болѣе сильныхъ, ее всегда можно замѣтить въ небольшой степени, именно въ томъ, что для ясной установки середины поля зрѣнія нужно установить тубусъ нѣсколько выше, чѣмъ для установки края. Гораздо болѣе неприятнымъ неудобствомъ, чѣмъ это, сравнительно незначительное—въ особенности при толстыхъ пре-

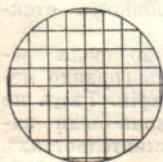


Рис. 17. Объективъ съ равномернымъ увеличеніемъ.

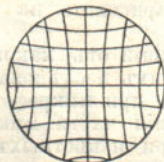


Рис. 18. Объективъ съ неравнымъ увеличеніемъ.

на рис. 17. Если же изображеніе искажено, какъ на рис. 18, то объективъ негоденъ для точныхъ работъ.

Дальнѣйшія причины уменьшенія рѣзкости изображенія заключаются въ сферической и хроматической абберраціи линзъ. Подъ именемъ сферической абберраціи понимаютъ то явленіе, когда при линзѣ съ весьма короткимъ радіусомъ кривизны, лучи, проходящіе черезъ линзу близъ ея края, соединяются въ менѣе удаленномъ пунктѣ, чѣмъ проходящіе ближе къ ея срединѣ; соотвѣтствующимъ выборомъ радіуса кривизны нужно стараться по возможности уменьшить отклоненіе лучей. Хроматическая абберрація зависитъ отъ различной преломляемости цвѣтовъ спектра, вслѣдствіе которой

паратахъ, съ которыми тутъ только и приходится имѣть дѣло,—является часто наблюдаемое искаженіе изображеній, которое происходитъ отъ неодинаковаго увеличенія въ различныхъ частяхъ поля зрѣнія. Его лучше всего можно узнать по стеклянному, раздѣленному на квадратики, микроскопу, который долженъ имѣть такой видъ, какъ это показано



болѣе сильно преломляющіеся фіолетовые лучи соединяются въ точкѣ, болѣе близко лежащей къ линзѣ ( $v$  на рис. 19), красные — въ болѣе далекой ( $r$ ). Но

такъ какъ болѣе сильное лучепреломленіе не влечетъ за собой одновременно въ той же мѣрѣ повышеннаго свѣторазсѣянія и такъ какъ существуютъ, напримѣръ, стекла (флинтгласъ), ко-

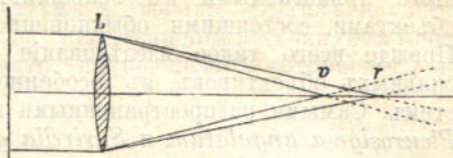
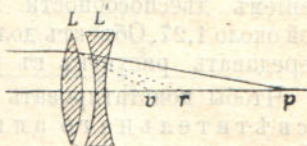


Рис. 19. Хроматическая аберрація.

торыя, по отношенію къ отклоненію свѣта, обладаютъ почти двойнымъ свѣторазсѣяніемъ, то ахроматическія линзы ком-

бинируютъ, какъ это показано на рис. 20, изъ двояковыпуклой линзы  $L$  изъ кронгласа и двояко вогнутой  $L'$  изъ флинтгласа, причѣмъ эта послѣдняя собираетъ въ  $p$  цвѣта, разсѣянные первой.



Но, благодаря различной степени свѣторазсѣянія въ различныхъ частяхъ спектра, соединеніе цвѣтовъ въ  $p$  бываетъ въ общемъ не вполне совершенное и только въ послѣднее время удалось конструировать такія комбинаціи линзъ, которыя уничтожаютъ хроматическую аберрацію одинаково во всѣхъ частяхъ спектра. Для этого часто употребляютъ линзы изъ плавленнаго шпата, которыя благодаря слабому лучепреломленію и необыкновенно слабому свѣторазсѣянію допускаютъ гораздо меньшій радіусъ кривизны. При посредствѣ должной комбинаціи удастся, благодаря такимъ линзамъ, уничтожить свѣторазсѣяніе кронгласа равномерно во всѣхъ частяхъ видимаго спектра. Неудобство заключается въ рѣдкости такого плавленнаго шпата, который былъ бы достаточно чистъ для такихъ цѣлей, а для поляризационнаго микроскопа, главнымъ образомъ, еще въ часто встрѣчающемся у него аномальномъ двойномъ преломленіи. Такія линзы называютъ апохроматами. Эти системы примѣняются преимущественно только для сильныхъ увеличеній, при которыхъ частичная поляризація очень косо проходящихъ лучей сама по себѣ имѣетъ значеніе для изслѣдованій въ поляризованномъ свѣтѣ. Изъ за этихъ неудобствъ подобными объективами, при изслѣдованіяхъ съ поляризационнымъ микроскопомъ, въ общемъ, пользуются только въ рѣдкихъ случаяхъ, тѣмъ болѣе, что незначительное свѣторазсѣяніе не особенно вредитъ дѣлу.

Объективъ испытываютъ на его ахроматичность тѣмъ, что зеркальце ставятъ нѣсколько влѣво и наклонъ и затѣмъ ищутъ въ препаратѣ какое-нибудь opakовое зерно, которое и устанавливаютъ на ясное видѣніе. Если объективъ хроматически недостаточно скорригированъ, то зерно является въ лѣвой части поля зрѣнія красноватымъ, въ правой фіолетовымъ; если же онъ перекорригированъ, то цвѣта располагаются въ обратномъ порядкѣ.



Свѣтосилу и вообще достоинство объективовъ испытываютъ при слегка покрытомъ бѣлыми облаками небѣ, и пользуются для этого прилагаемыми къ большинству микроскоповъ пробными объектами, состоящими обыкновенно изъ препаратовъ діатомей. Прежде всего такое изслѣдованіе имѣетъ значеніе для болѣе сильныхъ объективовъ, въ особенности для иммерсіонныхъ системъ. Самыми распространенными пробными объектами являются *Pleurosigma angulatum* и *Surirella gemma*, изъ которыхъ строеніе первой можетъ быть хорошо различимо уже съ болѣе сильными сухими системами, тогда какъ возможность отличать тонкія детали *Surirella*, въ особенности тонкую, идущую перпендикулярно къ поперечнымъ ребрамъ штриховку служитъ высшимъ проявленіемъ дѣеспособности иммерсіонныхъ объективовъ съ апертурой около 1,27. Объектъ долженъ, при соответствующемъ освѣщеніи, передавать рисунокъ въ рѣзкихъ линіяхъ.

Чтобы констатировать угловую величину отверстія освѣтительнаго аппарата, достаточную для примѣненія объективовъ съ наибольшей апертурой (въ нашемъ случаѣ обыкновенно не болѣе 1,27), лучше всего воспользоваться тонкой пластинкой слюды по спайности, которую и подвергнуть разсмотрѣнію съ соответствующимъ объективомъ въ сходящемся поляризованомъ свѣтѣ. Если пользуются объективомъ съ иммерсіей, то нужно пользоваться освѣтительнымъ аппаратомъ также въ качествѣ иммерсіи. При правильной установкѣ объектива и освѣтительнаго аппарата, интерференціонная осевая фигура является въ полѣ зрѣнія микроскопа до краевъ одинаково свѣтлой, если же отверстіе освѣтительнаго аппарата является недостаточнымъ, то край изображенія будетъ темнымъ. Съ другой стороны, если установка освѣтительнаго аппарата неправильна, то бываетъ видна только одна рѣзко ограниченная часть поля зрѣнія свѣтлой, именно та, которая соответствуетъ поперечному сѣченію поляризатора.

Микроскопы, изготовляемые лучшими фирмами, наврядъ-ли будутъ давать поводъ къ манипуляціямъ въ указанныхъ направленіяхъ. Зато центрированіе оси вращенія столика и установка направленій колебаній николей зависятъ отъ многихъ случайностей и подвержены значительнымъ измѣненіямъ во время самой работы, такъ что можно настоятельно рекомендовать частую провѣрку въ этомъ направленіи; поэтому, мѣры, которыя къ этому принимаются, должны быть здѣсь подробно описаны.

## 2. Центрированіе предметнаго столика.

Центръ вращенія предметнаго столика долженъ, по возможности, точно совпадать съ осью линзъ, т. е. микроскопъ долженъ быть центрированъ, потому что иначе перемѣщеніе объекта, наблюдаемое въ полѣ зрѣнія, при вращеніи предметнаго столика, весьма препятствуетъ точнымъ наблюденіямъ. Для этой цѣли



устанавливают какой-нибудь маленький, по возможности величиной с точку, объект в препарат—как раз на пересечение нитей нитяного креста и затем вращают столик на  $360^\circ$ , причем все время следят за перемещением точки. Эта точка будет обыкновенно описывать круг, центр которого ( $x$  на

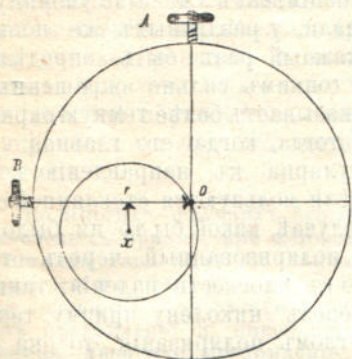


Рис. 21. Центрирование предметного столика.

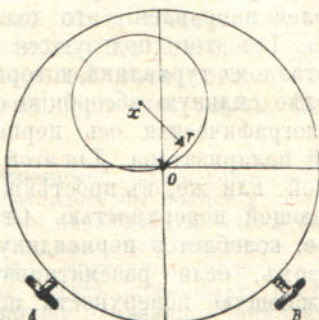


Рис. 22. Центрирование предметного столика.

рис. 21) не совпадает с центром нитяного креста  $o$ . Затем вращают центрировальный винт  $A$  до тех пор, пока эта точка  $x$  не переместится на расстояние  $xr$ , т. е. пока она не дойдет до нити, проходящей перпендикулярно к этому винту; далее, приводят в движение винт  $B$  до тех пор, пока не будет достигнуто перемещение на величину  $ro$ , т. е. до тех пор, пока центр  $x$  не будет казаться находящимся в пересечении нитей нитяного креста. После этого ставят выбранную раньше точку опять в пересечение нитей и проверяют, не изменяет ли она своего места при полном обороте столика; если же она, как это обыкновенно бывает, изменяет в незначительной степени свое место, то подобным же образом исправляют ошибки, полученные при примерной установке, до тех пор, пока не будет достигнута полная центровка.

В общем, при смене объективов каждый раз будет наблюдаться маленькая децентрировка; однако, при безупречно построенных объективах и при пользовании объективным зажимом, ошибки не должны быть настолько велики, чтобы наносить видимый ущерб работе. У некоторых инструментов, именно у тех, у которых центрировальные винты приделаны к предметному столику, эти винты действуют под углом в  $45^\circ$  к нитям нитяного креста, а не параллельно им. Данное выше наставление изменяется, соответственно этому, по рис. 22.



### 3. Юстирование нитянаго креста и николевыхъ призмъ.

Прежде всего важно узнать, расположено ли направлѣніе колебаній лучавъ поляризаторъ спереди назаль или справа налѣво, когда онъ поставленъ въ положеніе, отмѣченное особымъ значкомъ. У первоначальныхъ николей съ ромбическимъ сѣченіемъ направлѣніе колебаній, какъ уже было упомянуто, идетъ параллельно короткой діагонали, у различныхъ же новыхъ николей направлѣніе это должно каждый разъ быть опредѣлено особо. Для этого пользуются или тонкимъ сильно окрашеннымъ кристалломъ турмалина, который показываетъ болѣе темную окраску и болѣе сильную абсорбцію свѣта тогда, когда его главная кристаллографическая ось перпендикулярна къ направлѣнію колебаній поляризатора. Для этой же цѣли пользуются стеклянной стопкой или же, въ простѣйшемъ случаѣ, какой бы то ни было отражающей поверхностью. Свѣтъ, поляризованный черезъ отраженіе, колеблется перпендикулярно къ плоскости паденія; такимъ образомъ, если разсматривать черезъ николеву призму такую отражающую поверхность подъ угломъ поляризаціи, то она будетъ казаться темной, какъ скоро направлѣніе колебаній николя будетъ параллельно плоскости паденія свѣта.

Далѣе, должна быть провѣрена юстировка обоихъ николей. Если микроскопъ долженъ быть пригоденъ для какихъ бы то ни было измѣреній въ поляризованномъ свѣтѣ, то направлѣніе колебаній каждаго изъ николей должно быть, насколько только это возможно, параллельно соотвѣтствующей нити нитянаго креста, а эти нити, въ свою очередь, должны быть строго перпендикулярны одна къ другой. Это лучше всего констатировать при помощи игольчатаго кристалла съ прямымъ погасаніемъ, заключеннаго въ канадскій бальзамъ; кристаллъ этотъ долженъ быть вполне безцвѣтенъ и обладать свѣтопреломленіемъ, по возможности близкимъ къ свѣтопреломленію канадскаго бальзама. Эта реакція въ особенности отчетлива, если кристаллъ обнаруживаетъ между двумя николями интенсивные поляризационные цвѣта нисшихъ порядковъ. Въ высшей степени пригодными для этой цѣли являются длинные кристаллы кварца толщиной около 0,1 — 0,15 мм.; менѣе пригодны спайныя пластинки ангидрита и т. п., которыя, однако, легче получить. Если длинное ребро даннаго кристалла, заключеннаго въ бальзамъ, помѣстить параллельно одной изъ нитей, то, если направлѣніе колебаній поляризатора вполне совпадаетъ съ этимъ направлѣніемъ, свѣтъ безъ измѣненія пройдетъ и черезъ кристаллъ, т. е. кристаллъ кварца, который обладаетъ свѣтопреломленіемъ, очень близкимъ къ свѣтопреломленію канадскаго бальзама, будетъ, при скрещенныхъ николяхъ, вполне невидимъ и останется невидимымъ при вращеніи анализатора на 90°. Если же, при этомъ вращеніи,



наблюдается хотя бы слабое просвѣтленіе или окрашиваніе кристалла кварца, то это служить признакомъ того, что направленіе колебаній поляризатора не вполне совпадаетъ съ направленіемъ нити и тогда это корригируютъ вращеніемъ поляризатора до тѣхъ поръ, пока больше не наблюдается появленія цвѣтовъ. Такимъ же путемъ провѣряютъ анализаторъ, причемъ, послѣ того какъ точно замѣчено правильное положеніе поляризатора, имъ пользуются, какъ подвижнымъ никелемъ. Затѣмъ, ставятъ кристаллъ кварца параллельно другой нити и смотрятъ, не даетъ ли онъ цвѣтной реакціи, и, если этого нѣтъ, тогда имѣется вѣрнѣйшее доказательство того, что направленіе колебаній каждаго изъ никелей параллельно соотвѣтствующей нити нитяного креста и, кромѣ того, что обѣ нити строго перпендикулярны одна къ другой.

Во многихъ случаяхъ бываетъ невозможно найти такое положеніе никелевыхъ призмъ, при которомъ наблюдалось бы полное исчезновеніе кристалла, такъ какъ въ линзахъ часто наблюдаются оптическія погрѣшности (Störungen). Другой причиной служить то, что, при сильныхъ объективахъ получается частичная поляризація черезъ преломленіе и, наконецъ, линзы могутъ приобрѣтать извѣстную степень двойного преломленія, вслѣдствіе напряженія металлической оправы, въ особенности при быстрой смѣнѣ температуры. Если, въ послѣднемъ случаѣ, это напряженіе не очень велико, то черезъ нѣкоторое время само собой восстанавливается нормальное состояніе равновѣсія; если же дѣйствіе на поляризованный свѣтъ ясно замѣтно, то работа съ подобной системой линзъ сопряжена со многими неприяностями и неточностями. Слѣдуетъ еще замѣтить, что оптическія погрѣшности, когда онѣ проявляются при установкѣ поляризатора, зависятъ отъ освѣтительной системы, въ другихъ же случаяхъ—отъ объектива. Такъ какъ никелевыя призмы обыкновенно заключены въ пробку, которая сильно мѣняетъ свой объемъ, при измѣненіи влажности воздуха и температуры, а также въ концѣ концовъ и сама по себѣ, вслѣдствіе постепеннаго высыхаванія, то слѣдуетъ часто повторять провѣрку ориентированія никелевыхъ призмъ и можно посоветовать повторять ее каждый разъ, передъ тѣмъ какъ приступать къ какому-нибудь особо точному опредѣленію направленій колебаній въ кристаллѣ.

### Наблюденія въ обыкновенномъ свѣтѣ.

Подъ обыкновеннымъ свѣтомъ понимаютъ свѣтъ не поляризованный. Поэтому относящіяся сюда наблюденія могутъ быть произведены безъ никелевыхъ призмъ. Въ обыкновенномъ свѣтѣ могутъ быть изучены слѣдующія свойства:

1. Свѣтопреломленіе;
2. Форма и спайность;
3. Величина и толщина объекта;
4. Включенія;
5. Цвѣтъ;
6. Явленія въ отраженномъ свѣтѣ.



## 1. Наблюденіе свѣтопреломленія.

Первымъ и самымъ важнымъ наблюденіемъ, которое мы въ состояніи произвести съ микроскопомъ наиболѣе простого устройства, является наблюденіе свѣтопреломленія.

Лучъ свѣта, который вступаетъ въ косомъ направленіи изъ одной среды въ другую, отклоняется отъ своего первоначальнаго направленія, преломляется, такъ какъ скорость распространенія свѣта въ различныхъ средахъ различна. При этомъ онъ подчиняется закону  $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v}{v'}$ , (рис. 23), причемъ  $i$  есть

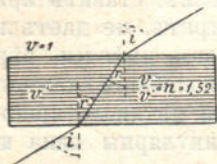


Рис. 23.

Преломленіе свѣта.

уголъ, образованный падающимъ лучемъ съ нормалью,  $r$  — уголъ преломленнаго луча, а  $v$  и  $v'$  — скорости распространенія свѣта въ обѣихъ средахъ. Изъ этой формулы слѣдуетъ, что лучъ свѣта, при переходѣ изъ среды съ большей скоростью распространенія ( $v$ ) въ среду съ меньшей скоростью распространенія ( $v'$ ) приближается къ нормали, такъ какъ въ этомъ случаѣ  $r < i$ . Если подставить въ вышеприведенное уравненіе скорость распространенія въ воздухѣ для первой среды  $v = 1$ , то мы получимъ показатель преломленія второй среды, по отношенію къ

воздуху,  $n = \frac{1}{v'} = \frac{\sin i}{\sin r}$  иными словами, скорость распространенія свѣта и свѣтопреломленіе находятся въ обратномъ отношеніи. Если, обратно, лучъ свѣта переходитъ изъ среды съ меньшей скоростью распространенія ( $v'$ ) въ среду съ большей скоростью распространенія ( $v$ ), то уголъ, образуемый преломленнымъ лучемъ съ нормалью будетъ больше, чѣмъ уголъ паденія и лучъ отдалится отъ нормали. При определенномъ углѣ паденія  $i$ , уголъ  $r$  будетъ  $= 90^\circ$ , т. е. свѣтъ, падающій на границу двухъ тѣлъ подъ этимъ, или еще болѣе большимъ угломъ, не проникаетъ больше во второе тѣло: онъ испытываетъ полное внутреннее отраженіе. Уголъ паденія  $i$ , при которомъ  $r = 90^\circ$ , называется предѣльнымъ угломъ полного внутренняго отраженія; онъ будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ больше разница скоростей распространенія свѣта въ обѣихъ средахъ, напр., для стекла ( $n = 1,5$ )  $40^\circ 45'$ , для алмаза ( $n = 2,4$ )  $23^\circ 45'$ , на границѣ съ воздухомъ.

Если, наконецъ, лучъ падаетъ перпендикулярно къ границѣ двухъ различныхъ срединъ, то  $\sin i = 0$ , вслѣдствіе чего и  $\sin r = 0$ , т. е. вертикально падающій свѣтъ, въ нормальномъ случаѣ, не испытываетъ никакого отклоненія. Если наблюдать отдѣльные кристаллы при помощи микроскопа, то прозрачными окажутся только тѣ части, которыя ограничены параллельными плоскостями, расположенными хотя-бы приблизительно перпендикулярно къ осн микроскопа, т. е. только въ этомъ случаѣ проходящіе на-



сквозь лучи не испытываютъ никакого или испытываютъ очень малое отклоненіе; если же наклонъ плоскостей значителенъ, то на границѣ между кристалломъ и воздухомъ наступаетъ полное внутреннее отраженіе свѣта: такія части кажутся темными. Если плоскости кристалловъ неровны или если мы имѣемъ дѣло съ неполированными пластинками кристалловъ, какъ напр. при шлифахъ, то онѣ будутъ казаться болѣе-или-менѣе мутными, такъ какъ, при неровныхъ плоскостяхъ ограниченія, только незначительная часть этихъ пластинокъ пропуститъ свѣтъ непреломленнымъ, тогда какъ краевыя плоскости углубленій и возвышеній, вызовутъ во многихъ мѣстахъ, въ силу ихъ косога положенія (см. разрѣзъ шлифа, стр. 7), полное внутреннее отраженіе.

Если на препаратъ, ограниченный неровными поверхностями помѣстить каплю воды ( $n = 1,333$ ) и покрыть его такъ называемымъ покровнымъ стеклышкомъ, то, хотя въ общемъ препаратъ и будетъ все-таки имѣть грубый видъ, но его прозрачность сильно увеличится, такъ какъ теперь различіе въ свѣтопреломленіи между кристалломъ и окружающей его средой будетъ меньше, а поэтому предѣльный уголъ полного внутренняго отраженія больше. Если взять жидкость съ болѣе высокимъ свѣтопреломленіемъ, то препаратъ будетъ имѣть тѣмъ менѣе грубый видъ, чѣмъ ближе будетъ свѣтопреломленіе жидкости къ свѣтопреломленію изслѣдуемаго вещества. При вполнѣ одинаковомъ свѣтопреломленіи, пластинка кажется какъ бы полированной, неровныя поверхности вполнѣ ровными и, если пользоваться жидкостями съ еще болѣе высокимъ свѣтопреломленіемъ, то опять болѣе и болѣе выступаетъ неровность поверхности. Также и ограниченіе кристалла, его очертанія, сильно выступающія при непокрытомъ препаратѣ, тѣмъ болѣе исчезаютъ, чѣмъ ближе показатель преломленія окружающей жидкости къ показателю преломленія кристалла и, при полномъ равенствѣ показателей преломленія, очертанія кристалла дѣлаются совсѣмъ невидимыми—предполагая, что кристаллъ безцвѣтенъ,—при употребленіи же жидкостей съ еще болѣе сильнымъ свѣтопреломленіемъ, онѣ вновь выступаютъ.

Точное наблюденіе этихъ различій въ свѣтопреломленіи, конечно, возможно только тогда, когда имѣются исключительно лучи одного опредѣленнаго направленія, т. е. въ параллельномъ свѣтѣ. Если же лучи, проходящіе черезъ препаратъ, обладаютъ значительной конвергенціей другъ къ другу, то на каждую единицу неровной поверхности ограниченія дѣйствуютъ лучи весьма различнаго направленія. Тогда во всѣхъ частяхъ черезъ препаратъ проходятъ только отдѣльныя части пучка лучей, и неравномѣрное освѣщеніе, а также то, что поверхность имѣетъ грубый видъ—все это выступаетъ менѣе рѣзко. Такъ какъ въ этихъ явленіяхъ, обусловленныхъ свѣтопреломленіемъ, заключается одно изъ важнѣйшихъ вспомогательныхъ средствъ при микроскопическихъ опредѣленіяхъ, то шлифъ обыкновенно не полируютъ и



всегда начинаютъ наблюденія въ свѣтѣ, по возможности параллельномъ, для того, чтобы вызвать указанные различія по возможности рѣзко.

Освѣтительный аппаратъ микроскопа даетъ уже самъ по себѣ болѣе или менѣе сходящіеся лучи; изъ нихъ, для наблюденія свѣтопреломленія, нужно выдѣлить пучекъ, по возможности, вполне параллельныхъ лучей. Съ уженіе освѣтительнаго конуса достигается или при помощи находящейся подъ освѣ-

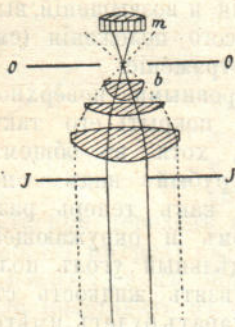


Рис. 24.

Съуженіе освѣтительнаго конуса при помощи ирисовой діафрагмы.

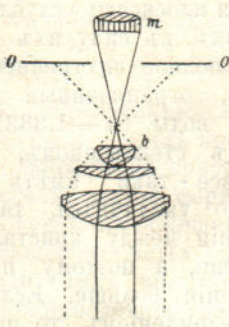


Рис. 25.

Съуженіе освѣтительнаго аппарата при помощи пониженія.

тельнымъ аппаратомъ ирисовой діафрагмы (J нарис. 24), при помощи которой діафрагмируются тѣ лучи, которые проходятъ черезъ вѣйшіе края линзъ, тогда какъ черезъ срединную часть освѣтительнаго аппарата проходитъ свѣтъ, который, какъ это показано на рис. 24, очень мало конвергентенъ; или же эта ирисовая діафрагма, обыкновенно считаема необходимою, можетъ быть вполне за-

мѣнена вертикальнымъ перемѣщеніемъ всего освѣтительнаго аппарата, какъ это видно изъ рис. 25. Если опустить освѣтительный аппаратъ въ его оправѣ, то наружныя части свѣтового пучка ударятся въ оправу и только лучи, мало отличающіеся въ своемъ направленіи другъ отъ друга пройдутъ сквозъ препаратъ. Для обоихъ методовъ цѣлесообразно пользоваться возможно сильной освѣтительной системой. Поэтому, у кого нѣтъ въ распоряженіи освѣтительнаго аппарата Абба, тотъ долженъ, вопреки обычнымъ наставленіямъ, вкладывать для подобныхъ изслѣдованій конденсоръ, если только черезъ это не будетъ суживаться поле зрѣнія; но это бываетъ только при самыхъ слабыхъ объективахъ. Поэтому цѣлесообразнѣе всего производить всѣ наблюденія подъ микроскопомъ со сложнымъ конденсоромъ, который удаляютъ только тогда, когда переходятъ къ самымъ слабымъ увеличеніямъ.

Въ отдѣльныхъ случаяхъ, когда дѣло идетъ объ особенно малыхъ различіяхъ въ свѣтопреломленіи, полезно воспользоваться косымъ освѣщеніемъ, котораго проще всего достигнуть поставивши на-косъ зеркальце; при этомъ свѣтъ попадаетъ только на край освѣтительнаго аппарата: для тѣхъ же цѣлей можно дѣлать ирисовую діафрагму подвижною въ горизонтальномъ направленіи. Но подобнаго рода приспособ-



собленія почти никогда не дѣлаются у поляризационныхъ микроскоповъ, изъ за вызываемаго ими усложненія инструментовъ.

Посредствомъ такъ называемыхъ центральныхъ діафрагмъ, которыя могутъ быть вложены подъ освѣтительнымъ аппаратомъ, можно также рѣзко вызвать различія въ свѣтопреломленіи, именно тѣмъ, что посредствомъ этихъ діафрагмъ средніе лучи задерживаются и только очень косо падающіе краевые лучи освѣтительнаго аппарата попадаютъ на препаратъ; однако эти центральныя діафрагмы должны быть приновлены къ углу отверстія того объектива, съ которымъ работаютъ.

Очень простой аппаратъ для распознаванія тончайшихъ различій въ свѣтопреломленіи представляетъ собой такъ называемый микро-рефрактометръ—круглый, снабженный центральнымъ отверстіемъ колпачекъ, который надѣвается на окуляръ и въ которомъ круглое отверстіе можетъ быть постепенно закрываемо при помощи особойдвигаемой сбоку части.

Во многихъ случаяхъ этотъ способъ можетъ быть примѣненъ къ довольно точному опредѣленію свѣтопреломленія изслѣдуемыхъ кристалловъ. Для этой цѣли собираютъ рядъ жидкостей, такъ называемыхъ индикаторовъ, которыя обнаруживаютъ постепенное возрастаніе свѣтопреломленія съ интервалами отъ 0,01—0,02, самое простое—рядъ различно концентрированныхъ растворовъ двойной соли іодистаго калия и іодистой ртути въ водѣ (жидкости

Таблица показателей  
преломленія жидкостей  
Туэл.

S.	nD.	nr.
3,2	1,733	0,0003156
3,1	1,715	0,0002919
3,0	1,696	2858
2,9	1,677	2795
2,8	1,658	2734
2,7	1,640	2675
2,6	1,621	2617
2,5	1,602	2557
2,4	1,583	2470
2,3	1,565	2383
2,2	1,546	2302
2,1	1,527	2219
2,0	1,509	2139
1,9	1,491	2060
1,8	1,473	1984
1,7	1,455	1907
1,6	1,437	1833
1,5	1,419	1759

S=уд. вѣсъ; nD—показатель преломленія для линіи D; nr—коэффициентъ измѣненія его для 1°Ц.

Туэл), такъ какъ при этомъ растворовъ имѣется возможность по помѣщаемой рядомъ таблицъ вычислить, для каждаго случая достаточно точнымъ образомъ, свѣтопреломленіе по удѣльному вѣсу, а этотъ послѣдній можетъ быть во всякое время опредѣленъ при помощи вѣсовъ Вестфала. Такимъ образомъ можно получить каждую промежуточную величину между  $n=1,33$  и  $n=1,73$ . Изслѣдуемый объектъ кладутъ послѣдовательно въ различныя жидкости и наблюдаютъ, по возможности въ монохроматическомъ свѣтѣ, при какомъ разбавленіи жидкости кристаллъ дѣлается вполне невидимымъ.

Болѣе точный способъ опредѣленія показателей преломленія микроскопическихъ кристалловъ былъ предложенъ К. Клейномъ—при помощи соединенія рефрактометра Аббе съ микроскопомъ.

Пользуясь этимъ методомъ, можно опредѣлить всѣ показатели преломленія на произвольно ориентированномъ микроскопическомъ разрѣзѣ к. н. минерала, для чего часть препарата, окружающая данный разрѣзъ должна быть задиафрагмирована при помощи чернаго лака. Даже при сравнительно маленькихъ недѣлимыхъ получаютъ еще вполне хорошіе результаты. Способы установки и наблюденія—тѣ же самыя, что и съ самимъ рефрактометромъ Аббе; поэтому излишне распространяться объ этомъ. Слѣдуетъ упомянуть только о томъ, что подставка, поддерживающая полшаріе аппарата Аббе, снабжена отверстіемъ, а само полшаріе плоское пришлифовано надъ этимъ отверстіемъ, для того чтобы можно было изслѣдовать препараты при помощи микроскопа въ проходящемъ, обычно



венномъ или поляризованномъ свѣтѣ. Однако этотъ сравнительно сложный аппаратъ, пріобрѣтеніе котораго сопряжено съ большими затратами, нашелъ себѣ мало примѣненія.

Нѣсколько проще и повидимому, очень пригоденъ, судя по полученнымъ результатамъ, построенный въ новѣйшее время Валлераномъ рефрактометръ, который можетъ быть приспособленъ ко всякому микроскопу. Онъ насаживается на предметный столикъ и состоитъ изъ призмы изъ сильно преломляющаго стекла, которая можетъ вращаться вокругъ горизонтальной оси параллельно ея преломляющему ребру, какъ сама по себѣ, такъ и въ соединеніи съ алидадой (отсчетъ до 2'). Само ребро сошлифовано параллельно основанію призмы для того, чтобы можно было при помощи микроскопа смотрѣть черезъ весь аппаратъ. По возможности тонко отполированный шлифъ (конечно непокрытый), съ каплей іодистаго метилена, прижимаютъ двумя пружинками къ основанію призмы и опредѣляютъ, направленіе погасанія минерала въ проходящемъ свѣтѣ. Затѣмъ вращаютъ призму до тѣхъ поръ, пока свѣтъ ауэровскій горѣлки, проходящій черезъ боковую грань и сдѣланный сходящимся при помощи линзы, не отразится отъ минерала и, выходя черезъ другую боковую грань призмы, не попадетъ на ось микроскопа. Затѣмъ, по возможности точно центрируютъ объектъ, устанавливаютъ направленія колебаній въ кристаллѣ, по сдѣланному раньше опредѣленію погасанія, и вращаютъ до тѣхъ поръ, пока распредѣленіе свѣта и тѣни не покажетъ предѣльнаго угла полного отраженія. Послѣ этого, суживаютъ ирисовую діафрагму настолько, что остается виденъ только разрѣзъ, подлежащій изслѣдованію, и замѣняютъ окуляръ зрительной трубой, которая снабжена компенсаторомъ Аббе, изолирующимъ желтые лучи изъ бѣлаго свѣта. Затѣмъ устанавливаютъ границы полного отраженія при помощи вѣдланнаго въ трубу нитянаго креста и дѣлаютъ отсчетъ. Засимъ освѣщаютъ этотъ крестъ падающимъ сбоку свѣтомъ при помощи призмы съ полнымъ внутреннимъ отраженіемъ. Призму, на которой помѣщается шлифъ, вращаютъ вмѣстѣ съ алидадой до тѣхъ поръ, пока отраженное отъ основанія призмы изображеніе нитянаго креста не совпадетъ съ самимъ нитянымъ крестомъ; послѣ этого производятъ второй отсчетъ и находятъ такимъ образомъ уголъ полного внутреннего отраженія.

Примѣненіе такъ называемыхъ „просвѣтляющихъ жидкостей“, которыми такъ часто пользуются въ органической микроскопіи, основано также на принципѣ компенсаціи свѣта. Препараты кристалловъ и горныхъ породъ заключаются обыкновенно въ канадскій бальзамъ, свѣтопреломленіе котораго, смотря по его разжиженію, можетъ колебаться между 1,53 и 1,545, и который въ большинствѣ случаевъ примѣняется въ качествѣ жидкости, служащей для сравненія. Канадскій бальзамъ въ особенности пригоденъ для этихъ цѣлей потому, что онъ въ свѣжемъ состояніи легкоплавокъ и, при помощи легкаго нагреванія, можетъ быть переведенъ въ прозрачное, почти безцвѣтное, крѣпко держащее клеевое вещество, которое при охлажденіи не дѣлается двоякопреломляющимъ (или по крайней мѣрѣ въ очень незначительной степени), какъ это обыкновенно бываетъ съ другими смолами. Растворы затвердѣвшаго канадскаго бальзама въ бензолѣ, ксилолѣ и т. п. тоже часто примѣняются, особенно, когда приходится имѣть дѣло съ веществами, которыя нельзя нагревать. Въ этомъ случаѣ свѣтопреломленіе, соотвѣтственно разжиженію бальзама, является нѣсколько болѣе слабымъ. Неудобствомъ для химика является необыкновенно высокая способность канадскаго бальзама къ растворенію не только органическихъ соединений, но также и многихъ неорганическихъ солей (которая, при извѣстныхъ обстоятельствахъ, благодаря прибавкѣ бензола и т. п., еще увеличивается).

Если дѣло идетъ не о такъ называемомъ „закрѣпленномъ препаратѣ“, (Dauerpräparat), а только о потребности минуты, то пользуются, вмѣсто нѣсколько неудобнаго въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ канадскаго бальзама, другими жидкостями, такъ въ простѣйшемъ случаѣ водой:  $n$  (свѣтопреломленіе) = 1,33, затѣмъ глицериномъ :  $n$  = 1,47, кедровымъ



масломъ;  $n=1,52$ ; для веществъ съ очень сильнымъ свѣтопреломленіемъ анилиномъ;  $n=1,59$ , монобромнафталиномъ;  $n=1,66$ , іодистымъ метиломъ;  $n=1,74$  или концентрированнымъ растворомъ двойной соли іодистаго калия и іодистой ртути;  $n=1,73$  и двойной соли іодистаго барія и іодистой ртути;  $n=1,78$ .

Такъ какъ полное исчезновеніе кристалла въ жидкости наблюдается только тогда, когда показатели преломленія кристалла и жидкости приблизительно равны, а при большемъ или меньшемъ свѣтопреломленіи по сравненію со свѣтопреломленіемъ окружающей среды, кристаллъ одинаковымъ образомъ выдѣляется изъ окружающей среды, то тутъ мы на первыхъ порахъ впадаемъ въ сомнѣніе, приписать ли это рельефное выступаніе кристалла той или другой причинѣ. Однако, рѣшеніе вопроса очень просто: при микроскопическомъ наблюденіи суживаютъ освѣтительный конусъ настолько, что граница между кристалломъ и жидкостью или въ шлифѣ,—граница двухъ кристалловъ, является въ видѣ рѣзкой линіи, и затѣмъ при помощи винта поднимаютъ трубу микроскопа. Тогда параллельно границѣ двухъ различно преломляющихъ срединъ выступаетъ ясно замѣтная свѣтлая полоска, которая, при поднятіи трубы микроскопа, перемѣщается по направленію къ болѣе сильно преломляющему свѣтъ веществу, тогда какъ объектъ, менѣе сильно преломляющій свѣтъ, является окруженнымъ темной каймой. При пониженіи трубы наблюдается обратное явленіе.

На рис. 26, изображены кристаллы азотнокислаго барія ( $n=1,57$ ) въ канадскомъ бальзамѣ; при поднятой трубѣ микроскопа ясно различима свѣтлая полоска внутри ограниченія кристалловъ. Противоположный случай наблюдается на изображенныхъ на рис. 27 тетраэдрахъ уксуснокислаго натрія-уранила, которые слабѣе преломляютъ свѣтъ, чѣмъ окружающій ихъ канадскій бальзамъ, и поэтому на нихъ можно

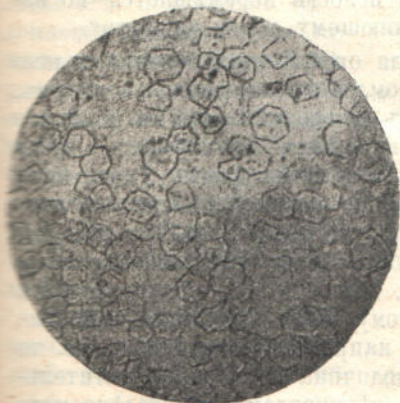


Рис. 26.  
Сильнѣе

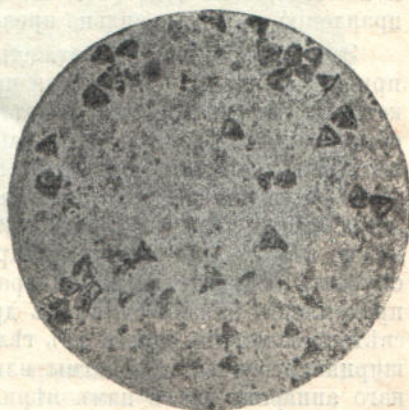


Рис. 27.  
Слабѣе

преломляющіе свѣтъ кристаллы въ канадскомъ бальзамѣ, при поднятой трубѣ микроскопа.



видѣть, при поднятіи трубы микроскопа, рѣзкій, свѣтлый край снаружи, а темный внутри кристалловъ.

Это явленіе объясняется слѣдующимъ образомъ: на границѣ двухъ различно преломляющихъ свѣтъ веществъ всѣ лучи (рис.

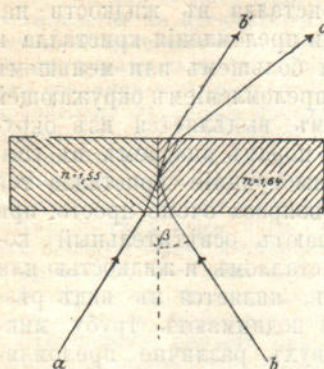


Рис. 28. Построеніе къ рис. 26 и 27. нія свѣтопреломленія обоихъ тѣлъ и тѣмъ больше, чѣмъ больше эта

разница. Если мы теперь настолько сужизмъ освѣтительный конусъ, что будемъ имѣть лучи, падающіе только внутри угла  $\beta$ , то само собой понятно, что граница между этими двумя тѣлами представится намъ въ слѣдующемъ видѣ: со стороны сильнѣе преломляющаго вещества, гдѣ свѣтъ, прошедшій черезъ границу, прибавляется къ свѣту, испытавшему полное внутреннее отраженіе, мы увидимъ сильно освѣщенную полосу, съ другой же стороны, гдѣ свѣтъ совсѣмъ не проходитъ — настолько же сильное затемненіе. При поднятіи трубы микроскопа, эта полоса дѣлается въ обѣ стороны шире, и кажется, какъ будто эта свѣтлая полоска перемѣщается по направлению къ болѣе сильно преломляющему свѣтъ веществу.

Это явленіе можетъ служить для опредѣленія, конечно, только приблизительнаго, показателя преломленія различныхъ веществъ, которые заключены, напримѣръ, въ канадскій бальзамъ, какъ это обыкновенно дѣлается при закрѣпленныхъ препаратахъ, когда нѣтъ необходимости вынимать ихъ изъ этой среды. Такъ какъ уголъ  $\beta$  увеличивается пропорціонально разницѣ въ свѣтопреломленіи обоихъ тѣлъ, то для того чтобы ясно увидать свѣтлую полосу, нужно тѣмъ болѣе суживать ирисовую діафрагму или тѣмъ ниже опускать освѣтительный аппаратъ, чѣмъ болѣе оба показателя преломленія близки одинъ къ другому. Если при этомъ извѣстно свѣтопреломленіе одного изъ тѣлъ, напр., канадскаго бальзама, то ширина отверстія діафрагмы или величина пониженія освѣтительнаго аппарата даетъ намъ мѣрило свѣтопреломленія изслѣдуемаго вещества. Эти различія въ свѣтопреломленіи между изслѣдуемымъ веществомъ и окружающей его средой, которые ясно выступаютъ благодаря такимъ методамъ изслѣдованія въ приблизительно параллельномъ освѣщеніи, позволяютъ различать



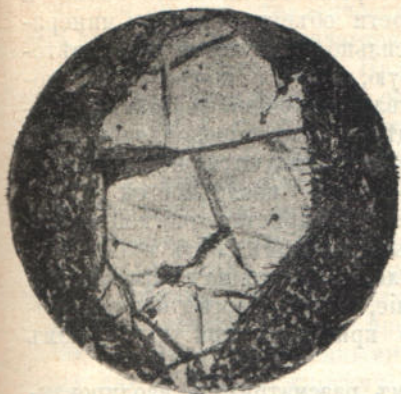


Рис. 29.

Сильно преломляющій свѣтъ минераль въ канадскомъ бальзамѣ.

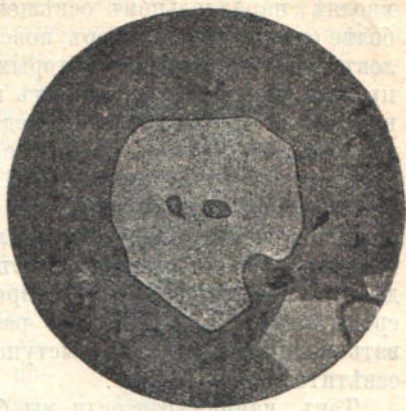


Рис. 30.

Менѣе сильно

характеръ поверхности и форму изслѣдуемыхъ веществъ и притомъ, тѣмъ лучше, чѣмъ значительнѣе эти различія; такимъ образомъ въ обыкновенныхъ шлифахъ, съ канадскимъ бальзамомъ, безцвѣтные минералы съ свѣтопреломленіемъ весьма близкимъ къ 1,54, какъ напримѣръ, кварцъ ( $n=1,55$ , рис. 30, стр. 31), будутъ въ обыкновенномъ свѣтѣ едва замѣтны и, съ другой стороны, очертанія кристалловъ будутъ тѣмъ болѣе рельефно выдѣляться, чѣмъ болѣе удаляются показатели преломленія отъ показателя преломленія канадскаго бальзама вверхъ (оливинъ  $n=1,68$ , рис. 29) или внизъ (гаюинъ  $n=1,48$ , рис. 31). Одновременно съ этимъ, яснѣе наблюдается шероховатость поверхности шлифовъ, такъ какъ они обыкновенно не особенно гладко отполированы.

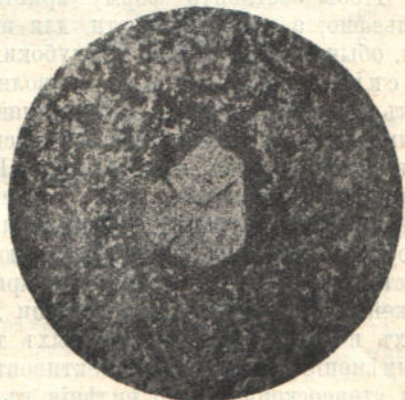


Рис. 31.

Слабо преломляющій свѣтъ минераль въ канадскомъ бальзамѣ.

При безцвѣтныхъ минералахъ, показатель преломленія которыхъ близокъ къ 1,54, эти неровности едва разбѣзъ и при параллельномъ освѣщеніи представляется вполнѣ прозрачнымъ и свѣтлымъ; при болѣе же сильномъ или болѣе слабомъ свѣтопреломленіи объекта, наблюденіе при



вполнѣ параллельномъ освѣщеніи открываетъ намъ все болѣе и болѣе отчетливо характеръ поверхности объекта. Разрѣзы минераловъ, свѣтопреломленіе которыхъ сильно отличается отъ свѣтопреломленія бальзама имѣютъ грубую, какъ-бы „шагреневую“ поверхность, что, въ свою очередь, является очень важнымъ признакомъ для приблизительнаго опредѣленія свѣтопреломленія, какъ это показываютъ рис. 29 — 31. Если изслѣдуются не шлифы, а изолированные кристаллы, то неровность поверхностей рѣдко имѣетъ при этомъ значеніе; наблюденіе же кристаллической формы возможно хорошо произвести въ обыкновенномъ свѣтѣ только тогда, если между показателемъ преломленія кристалла и окружающей среды имѣется значительное различіе, которое легко констатировать по пластическому выступанію кристалла при сѣуженномъ освѣтительномъ конусѣ.

Такъ, напримѣръ, если мы будемъ разсматривать изолированный кристаллъ кварца, заключенный въ канадскій бальзамъ, то въ силу близости свѣтопреломленія обоихъ веществъ, форма кристалла будетъ въ обыкновенномъ свѣтѣ неразличима или различима весьма неясно и то только при вполнѣ сѣуженномъ освѣтительномъ конусѣ. Если же положить кристаллъ въ воду или бромнафталинъ, то его форма выступитъ ясно уже при гораздо менѣе сѣуженномъ освѣтительномъ конусѣ.

## 2. Опредѣленіе формы и спайности.

Чтобы заставить форму кристалловъ выступать еще болѣе рельефно, а въ особенности для изслѣдованія фигуръ вытравленія, обыкновенно весьма неглубокихъ, пригодны стереоскопическіе микроскопы, позволяющіе разсматривать объекты, какъ тѣла. Рельефность, достигаемая, напр., новыми стереоскопическими микроскопами Цейсса, весьма облегчаетъ распознаваніе микроскопическихъ кристалловъ. Изображенная на рис. 32, модель, изготовленная этой фирмой по принципу Грену (Grenough), имѣетъ еще, благодаря помѣщающимся въ трубѣ микроскопа призмамъ, переворачивающимъ изображеніе, то преимущество, что даетъ изображеніе кристалла въ его истинномъ положеніи. Наблюденіе при помощи двухъ объективовъ, вставленныхъ по осямъ наблюдательныхъ трубъ, дѣлаетъ невозможнымъ примѣненіе сильныхъ объективовъ; но и другія приспособленія для стереоскопическаго видѣнія въ микроскопѣ, подобно двойнымъ окулярамъ или стереоскопическимъ окулярамъ, которые придѣлываются къ простымъ микроскопамъ, даютъ хорошіе результаты только при примѣненіи слабыхъ системъ, не достигая вмѣстѣ съ тѣмъ той рельефности, которая достигается бинокулярнымъ микроскопомъ. Важность стереоскопическаго видѣнія ограничивается небольшимъ числомъ случаевъ, и бинокулярный микроскопъ, въ общемъ, не можетъ собой замѣнить поляризационнаго микроскопа.



Наблюденіе формы объекта и, по возможности, точное ея изображеніе (см. способ схематическаго изображенія кристалловъ, описанный въ концѣ книги), является однимъ изъ первыхъ требованій при опредѣленіи кристалловъ. При этомъ не слѣдуетъ ограничиваться опредѣленіемъ очертаній, но нужно стараться, по возможности лучше, разгадать и тѣлесныя свойства кристалла. Безъ такого разсмотрѣнія формы кристалла, часто можно придти къ совсѣмъ ложнымъ результатамъ, такъ какъ углы между ребрами, въ силу случайнаго положенія кристалла въ препаратъ, являются часто искаженными и поэтому даютъ ложную картину симметріи кристалла.

Рука объ руку съ опредѣленіемъ кристаллической формы должно идти измѣреніе характерныхъ угловъ, причемъ надо принимать въ расчетъ только углы, образованные ребрами, лежащими изъ разъ въ плоскости предметнаго столика или образованные плоскостями, перпендикулярными къ этому направленію.

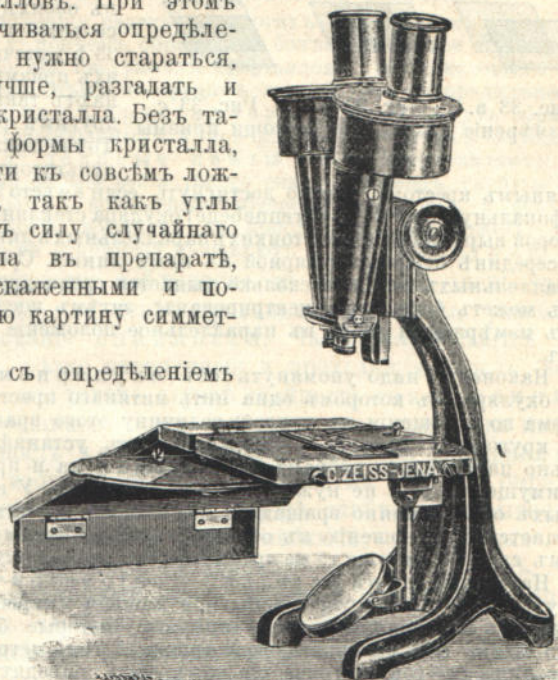


Рис. 32.  
Биноклярный микроскопъ по Грену, фабрики  
К. Цейсса въ Иенѣ.

Для этого устанавливаютъ ребро измѣряемаго угла параллельно нити нитянаго креста и отсчитываютъ по отмѣлкѣ подвижнаго предметнаго столика число градусовъ, затѣмъ вращаютъ до тѣхъ поръ пока другое ребро не будетъ параллельно той же нити и такимъ образомъ, послѣ повторнаго отсчета получаютъ, по разности, величину искомаго угла. Параллельнаго положенія ребра, конечно, можно тѣмъ легче достигнуть, чѣмъ длиннѣе и прямѣе будетъ само ребро и чѣмъ совершеннѣе система объективовъ; можно также рекомендовать, при измѣреніи, не приводить ребро въ полное совпаденіе съ нитью, а оставлять нѣкоторый промежутокъ между ребромъ и нитью, потому что такимъ образомъ параллельное положеніе ребра можетъ быть достигнуто съ большей точностью. Однако, даже въ самыхъ благоприятныхъ случаяхъ, можно удовлетвориться, при несовершенствѣ установки, отсчетомъ цѣлыхъ градусовъ и опредѣленіемъ на глазъ четверти градуса.

Для точныхъ измѣреній плоскихъ угловъ, именно очень маленькихъ кристалловъ, съ успѣхомъ пользуются призмой Лезона, а именно, ароматической кварцевой призмой, которая насаживается на



окуляръ и можетъ вращаться въ оправѣ съ дѣленіями. Черезъ эту призму можно видѣть два изображенія объекта, отчасти покрывающія одно другое. (рис. 33.). Сначала вращаютъ призму до тѣхъ поръ, пока



Рис. 33 а. Рис. 33 б. Рис. 33 с.  
Измѣреніе угловъ при помощи призмы  
Лезона.

одно ребро измѣряемаго угла въ обоихъ изображеніяхъ не сольется въ одну прямую (рис. 33 б.), отсчитываютъ на дѣленіяхъ призмы и за тѣмъ поступаютъ такимъ же образомъ съ другимъ ребромъ. (рис. 33 с.). Точно также болѣе точныхъ результатовъ, чѣмъ съ простымъ

нитянымъ крестомъ, можно достигнуть, если вмѣсто этого креста вставить въ фокальную плоскость (Brennphele) окуляра стеклянную пластинку, на которой вырѣзана система тонкихъ параллельныхъ линий, пересекающихся въ серединѣ перпендикулярной къ нимъ линіей. Средняя черта системы параллельныхъ линій нѣсколько выдается среди другихъ, такъ что объектъ можетъ быть легко центрированъ; затѣмъ последовательно приводятъ измѣряемые ребра въ параллельное положеніе съ системой штриховъ.

Наконецъ, надо упомянуть объ окулярномъ гониометрѣ: это окуляръ, въ которомъ одна нить нитянаго креста можетъ быть вращаема по отношенію къ другой; величину этого вращенія отсчитываютъ на круговомъ дѣленіи. Подвижную нить устанавливаютъ последовательно параллельно ребрамъ измѣряемаго угла и при этомъ имѣется то преимущество, что не нужно двигать препарата. У инструментовъ, у которыхъ одновременно вращаются оба николя, съ ихъ движеніемъ перемѣщается по отношенію къ объекту также и нитяной крестъ, такъ что въ этомъ случаѣ имѣется то же преимущество, что и у окулярнаго гониометра.

Настоящія отражательно-гониометрическія измѣренія могутъ также быть произведены при помощи микроскопа, если съ нимъ соединить или вращательные аппараты, которые будутъ описаны въ приложеніи, или маленький отражательный гониометръ. Однако эти микроскопически-гониометрическія измѣренія приводятъ къ хорошимъ результатамъ только при нѣкоторомъ навыкѣ. Если хотять, при подобныхъ изслѣдованіяхъ, воспользоваться самимъ микроскопомъ для наблюденія рефлексовъ отъ граней, то для этого пользуются зеркальнымъ приспособленіемъ Гаусса. Оно состоитъ въ-первыхъ изъ чернаго зеркала, насаживаемаго косо на окуляръ, и во-вторыхъ изъ находящагося подъ объективомъ зачерненнаго креста, состоящаго изъ двухъ пересекающихся штриховъ. Послѣ того, какъ грань установлена приблизительно перпендикулярно къ оси микроскопа, понижаютъ трубу микроскопа на половину фокуснаго разстоянія объектива и наблюдаютъ зеркальное изображеніе штриховаго креста въ окулярѣ. Если грань установлена точно, то это изображеніе совпадаетъ съ нитянымъ крестомъ. Однако, этимъ приспособленіемъ можно пользоваться только при самыхъ слабыхъ объективахъ.

Форма кристалловъ, изслѣдуемыхъ подъ микроскопомъ бываетъ часто различнѣйшимъ образомъ искажена, въ особенности, при быстрой кристаллизациі, такъ что получается неравномѣрное развитіе одностороннихъ плоскостей и истинную форму кристалла

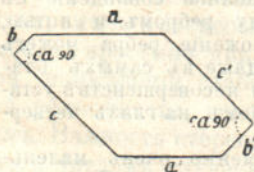


Рис. 34.

можно себѣ уяснить только съ трудомъ. Но т. к. въ такихъ случаяхъ углы между ребрами остаются постоянными, то въ измѣреніи ихъ мы имѣемъ вспомогательное средство для того, чтобы найти равнозначущія плоскости и распознать симметрію такого кристалла. Рис. 34 представляетъ собой разрѣзъ такого искаженнаго кристалла, который на первый взглядъ кажется совсѣмъ асимметричнымъ. Измѣреніе плоскихъ



уголъ показываетъ, что углы  $bc$  и  $b'c'$  равны около  $90^\circ$ , тогда какъ четыре остальныхъ угла опять таки равны между собой; поэтому, мы имѣемъ, повидимому, дѣло, съ ромбическимъ кристалломъ, на которомъ плоскости призмы  $bc$ ,  $b'c'$  развѣсьлись въ совсѣмъ различныхъ размѣрахъ.

Быстрая кристаллизація ведетъ во многихъ случаяхъ къ недостаточному росту, причемъ образуются болѣе или менѣе правильно ограниченныя углубленія на граняхъ кристалловъ, ростъ которыхъ на ребрахъ шелъ быстрой, чѣмъ на срединѣ граней. Эти неправильности приводятъ къ скелетамъ кристалловъ, которые могутъ образоваться въ самыхъ разнообразныхъ и причудливыхъ формахъ. Звѣздчатые скелеты снѣга, ледяные цвѣты и т. д. представляютъ собой самыя извѣстныя формы роста такого рода. Наконецъ, скелеты ведутъ къ заостреннымъ, волосо-палочко—подобнымъ и т. п. образованиямъ, принадлежность которыхъ къ кристалламъ не можетъ уже быть твердо установлена и которыя называютъ кристаллитами.

Минералы, которые мы наблюдаемъ въ шлифахъ, очень часто обнаруживаютъ болѣе или менѣе правильныя трещины, указывающія на существованіе спайности. Часто наблюдаются отдѣльныя трещинки, рѣзко очерченныя и проходящія черезъ весь разрѣзъ минерала—въ такомъ случаѣ спайность совершенно ясная, даже если число трещинокъ незначительно; если трещинки менѣе совершенны—спайность ясная; или же, наконецъ, трещинки являются неясными, изогнутыми, но слѣдуютъ, въ общемъ, опредѣленнымъ направленіямъ: въ такомъ случаѣ спайность называется неясной. Кромѣ того, иногда можно наблюдать различныя системы направленій спайностей одинаковыхъ или различныхъ, образующихъ к. н. характерный уголъ, который можетъ быть опредѣленъ измѣреніемъ. Однако измѣренію спайнаго угла въ шлифѣ обыкновенно приписываютъ гораздо большее значеніе, чѣмъ слѣдуетъ, т. к. при произвольной оріентировкѣ, которой обладаютъ отдѣльные разрѣзы шлифа, величина этого угла въ значительной степени зависитъ отъ направленія, по которому кристаллъ разрѣзанъ.

Точно такъ же изслѣдованіе кусочковъ, выбитыхъ по спайности изъ пороодообразующихъ минераловъ даетъ часто очень характерные результаты, такъ что иногда можно рекомендовать предпринять подобное изслѣдованіе для того, чтобы быстро оріентироваться въ этихъ минералахъ или же чтобы дополнить микроскопическія наблюденія.

У изолированныхъ кристалловъ спайность можно наблюдать болѣею частью только въ отдѣльныхъ случаяхъ и обыкновенно только тогда, когда спайность весьма совершенна; иногда можно вызвать появленіе спайныхъ кусочковъ раздавливаніемъ кристалла и т. п. и въ этомъ случаѣ видъ спайности является гораздо болѣе характернымъ признакомъ для того или другого вещества, чѣмъ это имѣетъ мѣсто при изслѣдованіи шлифа подъ микроскопомъ. Подобно трещинамъ спайности въ микроскопическихъ объектахъ могутъ иногда встрѣчаться трещины по т. наз. плоскостямъ скользянія и мы не имѣемъ средствъ отличить оба вида этихъ трещинъ одинъ отъ другого.



### 3. Измѣреніе величины и толщины объекта.

Часто представляется интереснымъ опредѣлить величину объекта, съ опредѣленіемъ же толщины приходится имѣть дѣло еще чаще. Для первой цѣли служатъ микрометры, которые бываютъ приспособлены иногда къ предметному столику, иногда же вдѣляются въ окуляръ. Первые изъ нихъ даютъ величину непосредственно, результаты же полученные отъ вторыхъ должны быть еще перечислены на соответствующій объективъ и на соответствующую длину тубуса. Зато, съ другой стороны, ошибки дѣлений объектного микрометра увеличиваются въ зависимости отъ всего увеличенія микроскопа, тогда какъ для окулярнаго микрометра играетъ роль только увеличеніе окуляра.

Въ качествѣ объектного микрометра въ нѣкоторыхъ случаяхъ служатъ дѣленія столика съ накрестъ расположенными салазками, на которомъ, по дѣленіямъ, нанесеннымъ на головкахъ винтовъ, можно отсчитывать до  $\frac{1}{1000}$  мм.: однако, ошибки, которыя могутъ произойти при приготовленіи нарѣзокъ, дѣлаютъ эту величину иллюзорной. Иногда пользуются также стекляннымъ микрометромъ, который накладывается на предметный столикъ, но и подобный микрометръ имѣетъ то неудобство, что происходящія при этомъ ошибки умножаются. При этомъ миллиметръ долженъ быть раздѣленъ на сто частей и дѣленія должны быть равны.

Что же касается до микрометровъ, которые вставляются въ окуляръ, то они обыкновенно снабжаются дѣленіями въ  $\frac{1}{10}$  мм.; требованія относительно ихъ изготовленія гораздо менѣе значительны и ошибки играютъ также гораздо менѣе важную роль. Такой окулярный микрометр можетъ или просто накрѣпко вдѣлываться въ окуляръ, въ плоскости, проходящей черезъ его фокусъ, или можетъ быть приспособленъ такъ, что онъ перемѣщается въ фокальной плоскости окуляра при помощи особаго винта, дѣйствующаго въ направленіи перпендикулярномъ къ оси микроскопа. Далѣе, въ другихъ случаяхъ, сама скала неподвижна, а надъ ней передвигается, при помощи барабана съ дѣленіями (Messtrommel). Рамсденовскій окуляръ съ указательной черточкой, въ его фокусѣ; дѣленія, которыя, по возможности, должны приближаться къ этой отмѣткѣ, устроены на верхней плоской сторонѣ линзы, которая, въ свою очередь, устанавливается на объективъ, такъ что, черезъ это, уничтожается эксцентрицитетъ окуляра, при его передвиженіи.

Для опредѣленія относительныхъ количествъ минераловъ въ шлифѣ, можно пользоваться микрометромъ, также вставляемымъ въ окуляръ и обладающимъ дѣленіями, изображенными на рис. 17 (стр. 18).

Измѣреніе толщины микроскопическаго объекта, въ общемъ, возможно только тогда, если довольно точно извѣстны его оптическія свойства; поэтому, у изолированныхъ кристалловъ достигнуть этой цѣли можно только въ очень рѣдкихъ слу-



чаяхъ, нѣсколько чаще у шлифовъ, въ которыхъ почти всегда имѣются отдѣльные минералы, которые легко узнать. Однако, даже въ самомъ благоприятномъ случаѣ измѣреніе толщины очень мало заслуживаетъ довѣрія.

Въ прежнее время часто практиковался способъ, предложенный герцогомъ де-Шонъ для опредѣленія свѣтопреломленія, которымъ, обратно, можно воспользоваться и для опредѣленія толщины объекта. Установимъ к. н. точку ( $o$  на рис. 35) на ясное видѣніе и затѣмъ положимъ ограниченную параллельными плоскостями пластинку, вырѣзанную изъ к. н. прозрачнаго вещества, между объектомъ и объективомъ; такъ какъ этой пластинкой лучи  $or$  и  $os$  будутъ отклонены, то получается впечатлѣніе, какъ будто лучи исходятъ изъ точки  $o'$ .

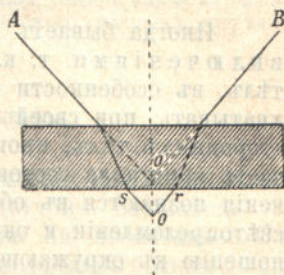


Рис. 35. Способъ герцога де-Шонъ.

Поэтому, нужно будетъ поднять объективъ, при помощи микрометрическаго винта, настолько, чтобы достигнуть установки на точку  $o'$ . Величина  $oo'$ , при одинаковой толщинѣ пластинки, зависитъ отъ ея показателя преломленія; если же извѣстенъ показатель преломленія, то получаемъ величину, соответствующую толщинѣ пластинки. Величину поднятія объектива можно отсчитать по дѣленіямъ, нанесеннымъ на головку микрометрическаго винта; обозначимъ ее буквой  $d$ , толщину пластинки  $e$ , тогда показатель преломленія будетъ

$n = \frac{e}{e-d}$  или же, если извѣстенъ показатель преломленія, то л-

щина пластинки  $e = \frac{d}{1 - \frac{1}{n}}$ .

Для того, чтобы опредѣлить по этому способу толщину шлифа выбираютъ въ немъ к. н. разрѣзъ, свѣтопреломленіе котораго извѣстно. Затѣмъ, устанавливаютъ сначала на ясное зрѣніе поверхность разрѣза при очень сильномъ увеличеніи, и потомъ стараются точно такъ же установить на ясное зрѣніе к. н. пылинки, и т. п., лежація подъ этимъ разрѣзомъ въ слѣдъ канадскаго бальзама и которыя обыкновенно всегда имѣются въ препаратѣ. Изъ разницы обѣихъ установокъ, получается, по вышеприведенной формулѣ, непосредственно толщина препарата, если извѣстенъ показатель преломленія даннаго минерала. Этотъ методъ дѣлается нѣсколько болѣе заслуживающимъ довѣрія, если вмѣсто пылинокъ и т. п. воспользоваться к. н. опредѣленнымъ сигналомъ, напримеръ, тонкой сѣточкой, которую прикрѣпляютъ воскомъ подъ поляризаторомъ. Затѣмъ, устанавливаютъ изображеніе сигнала, полученное въ уменьшенномъ видѣ отъ освѣтительной линзы и, послѣ того какъ въ предметный столикъ положенъ объектъ, наблюдаютъ вызванное имъ перемѣщеніе изображенія. Но и при этомъ, способъ этотъ, въ случаѣ микроскопическихъ препаратовъ, даетъ весьма малонадежные результаты, ввиду того, что ошибки при установкѣ являются весьма значительными, по сравненію съ толщиной препарата, такъ что способъ этотъ, въ общемъ, практикуется очень рѣдко. Нѣсколько болѣе точный



методъ, обладающій, однако, также значительными недостатками, основывается на наблюдении интерференционныхъ цвѣтовъ; онъ будетъ изложенъ болѣе подробно въ соответствующей главѣ.

#### 4. Наблюдение надъ включениями.

Иногда бываетъ весьма важно произвести наблюдения надъ включениями, т. к. большое количество кристаллизованныхъ тѣлъ, въ особенности минераловъ, обладаютъ способностью захватывать, при своей кристаллизаци, значительныя массы постороннихъ тѣлъ, иногда въ такомъ количествѣ, что большая часть кристалла состоитъ изъ такихъ постороннихъ тѣлъ. Включения познаются въ обыкновенномъ свѣтѣ по тому отличію въ свѣтопреломленіи и окраскѣ, которыя они обнаруживаютъ по отношенію къ окружающему кристаллу.

Таковыми отчасти являются кристаллизованныя вещества, которыя встрѣчаются въ видѣ включеній и опредѣляются обыкновенными способами. Кромѣ того, встрѣчаются включения газовъ, жидкостей и стекла, которыя часто даютъ важныя точки опоры для сужденія объ генетическихъ соотношеніяхъ. Т. к. свѣтопреломленіе газовъ сильно отличается отъ свѣтопреломленія твердыхъ тѣлъ, то въ кристаллизованныхъ тѣлахъ включения газовъ всегда рѣзко выделяются; при параллельномъ освѣщеніи они являются ограниченными простой, но широкой, вызванной полнымъ внутреннимъ отраженіемъ, каймой (рис. 36); далѣе, т. к. всѣ газы могутъ смѣшиваться между собой, то въ пузырькахъ газа никогда не наблюдается раздѣленія на отдѣльныя зоны. При изслѣдованіи газовыхъ включеній нужно быть очень осторожнымъ и различать, имѣемъ ли мы дѣло съ пузырькомъ газа, заключающемся дѣйствительно въ самомъ объектѣ, или же въ канальцѣ балъзамъ.

Въ противоположность включениямъ газа, включения жидкостей и стекла являются обыкновенно раздѣленными на различныя зоны. Изъ жидкостей въ этомъ отношеніи, помимо воды и соляныхъ растворовъ, имѣетъ значеніе также и жидкая углекислота; обыкновенно вмѣстѣ съ жидкостью встрѣчается маленький пузырекъ газа или воздуха (Libelle), который, при нѣкоторыхъ условіяхъ, именно въ очень маленькихъ включенияхъ и при температурныхъ измѣненіяхъ, бываетъ крайне подвиженъ. Свѣтопреломленіе жидкостей во всѣхъ, наблюдаемыхъ въ природѣ случаяхъ, стоитъ между свѣтопреломленіемъ минерала и таковымъ же пузырька и, при параллельномъ освѣщеніи, обѣ границы (пузырька и включения жидкости), какъ это видно на рис. 37, выступаютъ въ видѣ



Рис. 37.  
Включения жидкости.



Рис. 38.  
Включения стекла.

рѣзкихъ линій. Иногда во включеніи жидкости можно видѣть нѣсколько несмѣшивающихся жидкостей съ различнымъ свѣтопреломленіемъ, одна подлѣ другой; иногда встрѣчаются и небольшіе кристаллы. Если жидкость въ подобномъ включеніи есть жидкая углекислота, то это лучше всего можно констатировать, нагревая препаратъ довольно долгое время нѣсколько выше критической температуры углекислоты: при этомъ пузырекъ исчезаетъ и край включенія дѣлается рѣзче.



Наконецъ, включенія стекла, которыя содержатъ точно также одинъ, а иногда и нѣсколько, но всегда неподвижныхъ пузырьковъ, не обнаруживаютъ по отношенію къ окружающему кристаллу рѣзкихъ контуровъ, если кристаллъ слабо преломляетъ свѣтъ. Эти контуры становятся тѣмъ яснѣе, чѣмъ сильнѣе повышается свѣтопреломленіе кристалла, самъ же пузырекъ напротивъ окруженъ всегда широкой, темной каймой (рис. 38). Закономѣрное расположение включеній является во многихъ случаяхъ также весьма характернымъ (лейцитъ).

## 5. Наблюдение надъ цвѣтомъ.

Дальнѣйшимъ наблюденіемъ, которое можно произвести въ простомъ свѣтѣ, является наблюденіе надъ цвѣтомъ. Ближайшія указанія относительно названій цвѣтовъ едва ли необходимы. Слѣдуетъ только сказать, что многія тѣла, которыя въ большихъ кристаллахъ окрашены въ темные цвѣта и вполнѣ непрозрачны, въ тонкихъ пластинкахъ являются безцвѣтными или почти безцвѣтными (авгитъ), тогда какъ другія, окрашенные въ макроскопическихъ кристаллахъ гораздо болѣе свѣтло, позволяютъ ясно отличать ихъ окраску даже въ самомъ тонкомъ шлифѣ (андалузитъ, дистенъ). Нечего и говорить о томъ, что слой к. н. вещества является самъ по себѣ тѣмъ свѣтлѣе окрашеннымъ, чѣмъ онъ тоньше. Поэтому, для наблюденія надъ окраской, выбираютъ обыкновенно не самый тонкій шлифъ.

Когда свѣтъ проходитъ черезъ к. н. тѣло, то онъ испытываетъ ослабленіе своей интенсивности, онъ поглощается вполнѣ или отчасти. Если поглощеніе (абсорбція) незначительно и приблизительно одинаково для разныхъ цвѣтовъ спектра, то данное тѣло является безцвѣтнымъ и прозрачнымъ; если же поглощеніе велико даже въ самыхъ тонкихъ пластинкахъ то тѣло называютъ непрозрачнымъ или opakовымъ. Если одни цвѣта спектра поглощаются въ к. н. тѣлѣ сильнѣе, чѣмъ другіе, то тѣло является окрашеннымъ. Въ этомъ случаѣ отличаютъ собственный цвѣтъ, тотъ цвѣтъ, который свойственъ самому веществу данного тѣла отъ окраски, вызванной посторонними подмѣсями, которыя, однако, такъ тонко распределены, что ихъ нельзя открыть даже при самомъ сильномъ увеличеніи микроскопа, тогда какъ при окраскѣ, происходящей отъ включеній, причина окраски всегда ясно обнаруживается при сильныхъ увеличеніяхъ.

Какъ было замѣчено раньше, хроматическая корректура ахроматическихъ объективовъ не является совершенной; это часто можетъ повести къ ложнымъ заключеніямъ, такъ какъ, въ силу этой причины, маленькія чернышки, въ дѣйствительности opakовыя, являются при сильныхъ увеличеніяхъ окрашенными въ фиолетовый или зеленый цвѣтъ. Первое имѣетъ мѣсто, если объективъ установленъ нѣсколько ниже, второе — если онъ установленъ нѣсколько выше, чѣмъ слѣдуетъ; это явленіе называютъ псевдохроизмомъ.



## 6. Явленія, наблюдаемыя при отраженномъ свѣтѣ.

Наблюденія въ отраженномъ свѣтѣ касаются вообще свойствъ поверхности кристалловъ, поскольку эти послѣдніе не могутъ быть опредѣлены въ проходящемъ свѣтѣ; таковыми являются прежде всего, блескъ непрозрачныхъ веществъ (именно металлическій блескъ), фигуры вытравленія, и т. д. Для наблюденій въ отраженномъ свѣтѣ устраняютъ идущій снизу (проходящій) свѣтъ и пользуются свѣтомъ, падающимъ на препаратъ подъ объективомъ, или же еще усиливаютъ его собирательными линзами или рефлекторами.

Если пользуются свѣтомъ, падающимъ на препаратъ сверху, то разстояніе объектива отъ препарата должно быть не слишкомъ мало, такъ какъ иначе большая часть свѣта удерживается оправой объектива. Поэтому, для подобныхъ наблюденій цѣлесообразно выбирать слабые объективы, если же нужно имѣть сильные увеличенія, то — очень сильные окуляры.

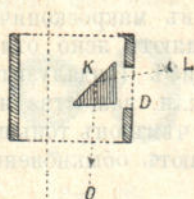


Рис. 39.  
Вертикальный иллюминаторъ.

Если приходится работать съ объективами съ малымъ фокуснымъ разстояніемъ, то пользуются такъ наз. вертикальнымъ иллюминаторомъ, помещающимся надъ объективомъ. Его разрывъ изображенъ на рис. 39. Иллюминаторъ состоитъ изъ призмы *K* съ полнымъ внутреннимъ отраженіемъ, при помощи которой проникающій черезъ отверстіе *D* свѣтъ *L* отбрасывается черезъ объективъ *O* на препаратъ. Призма вдается на половину въ объективъ и оставляетъ свободный для наблюденія другую половину, черезъ которую свѣтъ, отраженный отъ объекта, достигаетъ глаза. Слѣдуетъ замѣтить, что, при пользованіи этой методой, нельзя накрывать объектъ покровнымъ стеклышкомъ, потому что иначе большая часть свѣта будетъ отражаться уже отъ покровнаго стеклышка; вообще, при изслѣдованіяхъ въ отраженномъ свѣтѣ лучше всего пользоваться непокрытыми препаратами. Однако, при сильныхъ объективахъ, вслѣдствіе большой потери свѣта, нельзя пользоваться и вертикальнымъ иллюминаторомъ \*).

## Наблюденія въ параллельномъ поляризованномъ свѣтѣ.

Для изслѣдованія кристаллизованныхъ тѣлъ особенно важны наблюденія въ поляризованномъ свѣтѣ, такъ какъ при помощи этихъ наблюденій можно установить внутреннее строеніе кристалла. Для этой цѣли между источникомъ свѣта и изслѣдуемымъ объектомъ вставляютъ николеву призму, такъ наз. поляризаторъ, и наблюдаютъ явленія, которыя, при вращеніи предметнаго

\*) Для опредѣленія блеска и цвѣта непрозрачныхъ минераловъ въ отраженномъ свѣтѣ проф. А. А. Иностранцевымъ была предложена *сравнительная камера*, описаніе которой можно найти въ его „Геологіи“ т. I изд. 3-е стр. 299. Эта камера даетъ возможность одновременно разсматривать въ полѣ зрѣнія окуляра два изображенія и если одно изъ нихъ принадлежитъ извѣстному минералу, а другое неизвѣстному, то опредѣлить ихъ сходство или различія не представляетъ большого труда. *Прим. перев.*



столика послѣдовательно на  $360^\circ$ , обнаруживаетъ кристаллъ въ различныхъ плоскостяхъ, въ которыхъ производитъ свои колебанія прямолинейно поляризованный свѣтъ, доставляемый поляризаторомъ, при прохожденіи черезъ кристаллъ. Или же пользуются еще второй николевой призмой, а н а л и з а т о р о мъ, которая помѣщается надъ объективомъ и обыкновенно устанавливается такъ, что плоскость ея колебаній строго перпендикулярна къ плоскости колебаній первой призмы; тогда наблюдаютъ явленія интерференціи свѣта „между перекрещенными николями“. Однако, прежде чѣмъ излагать, какъ производятся подобныя изслѣдованія слѣдуетъ предпослать краткій очеркъ оптическихъ свойствъ кристалловъ.

### Оптическія свойства кристалловъ.

Если мы изъ кристалла плавикового шпата или каменной соли вырѣжемъ въ произвольномъ направленіи пластинку, ограниченную параллельными плоскостями или выедемъ изъ тѣхъ же минераловъ пластинку по спайности и затѣмъ будемъ разсматривать черезъ такую пластинку, въ направленіи, перпендикулярномъ къ ней, маленькое свѣтлое отверстіе, вырѣзанное въ темной ширмочкѣ, то это отверстіе мы увидимъ такимъ же и на томъ же мѣстѣ, какимъ мы его видѣли бы и безъ такой пластинки. Если мы имѣемъ вмѣсто пластинки, ограниченной параллельными плоскостями, призму изъ того же вещества и будемъ разсматривать отверстіе ширмочки черезъ двѣ грани, расположенныя одна къ другой подъ угломъ, то изображеніе отверстія хотя и перемѣстится съ прежняго мѣста и будетъ казаться по краямъ окрашеннымъ, но во всякомъ случаѣ мы увидимъ только одно изображеніе отверстія. Такимъ свойствомъ обладаютъ всѣ аморфныя тѣла и кристаллы правильной системы; поэтому ихъ называютъ **однопреломляющими**.

Если мы имѣемъ рядъ такихъ призмъ изъ однопреломляющаго тѣла и опредѣлимъ, при помощи наименьшаго отклоненія свѣта, ихъ показатели преломленія, то во всѣхъ этихъ призмахъ мы получимъ одинаковое свѣтопреломленіе, какъ бы онѣ ни были ориентированы. Такимъ образомъ однопреломляющія тѣла преломляютъ свѣтъ во всѣхъ направленіяхъ одинаково; поэтому ихъ называютъ **оптически изотропными** (греч. *isos* равный, одинаковой, *tropein*—отклонять). Такъ какъ свѣтопреломленіе находится въ обратномъ отношеніи къ скорости распространенія свѣта, то изъ этого слѣдуетъ, что въ оптически изотропномъ тѣлѣ свѣтъ распространяется по всѣмъ направленіямъ съ одинаковой скоростью.

Иное мы встрѣчаемъ у кристалловъ другихъ системъ. Если мы, напр. возьмемъ прозрачный кусокъ, выбитый по спайности изъ известковаго шпата и будемъ разсматривать черезъ это свѣтлое отверстіе, то мы его увидимъ удвоеннымъ. Одно



изъ изображеній находится на прежнемъ мѣстѣ, другое же отклонено, смотря по положенію известковаго шпата, вверхъ или внизъ, вправо или влѣво. Если мы будемъ вращать пластинку известковаго шпата, продолжая смотрѣть черезъ нее, то мы увидимъ, что второе изображеніе свѣтлаго отверстія вращается вокругъ перваго, причемъ всегда можно наблюдать, что линія соединяющая оба изображенія представляетъ собой линію, дѣлящую пополамъ тупой уголъ спайнаго куска известковаго шпата. Сѣченіе, проведенное черезъ известковый шпатель въ этомъ направленіи, называютъ главнымъ сѣченіемъ. Таковы свойства всѣхъ кристалловъ, не принадлежащихъ къ правильной системѣ и поэтому такіе кристаллы называютъ **двупреломляющими**.

Изъ двухъ лучей, происшедшихъ отъ двойного лучепреломленія, одинъ лучъ ( $\omega$  на рис. 40) даетъ изображеніе предмета на его истинномъ мѣстѣ, т. е., при вертикально падающемъ свѣтѣ, лучъ этотъ не испытываетъ никакого отклоненія: онъ слѣдуетъ обыкновеннымъ законамъ свѣтопреломленія и его называютъ о б ы к н о в е н н ы мъ лучемъ. Другой лучъ ( $\epsilon$  на рис. 40), при такомъ же вертикальномъ паденіи свѣта, отклоняется отъ первоначальнаго направленія: онъ подчиняется другимъ законамъ преломленія и его называютъ н е о б ы к н о в е н н ы мъ лучемъ. Далѣе, т. к. линія соединяющая оба изображенія, представляетъ собой, во всѣхъ положеніяхъ известковаго шпата, такъ наз.

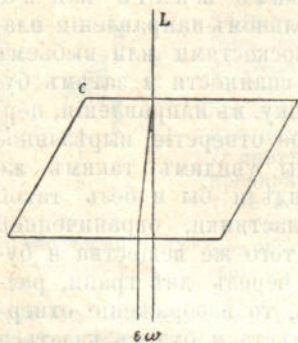


Рис. 40.

Разложеніе свѣта въ известковомъ шпатѣ.

главное сѣченіе, то, слѣд. отклоненіе необыкновеннаго луча происходитъ въ главномъ сѣченіи (рис. 40). Разсматривая оба изображенія, которые мы получаемъ отъ одного спайнаго куска известковаго шпата черезъ другой кусокъ, такой же толщины, мы увидимъ, что изображенія кажутся вовсе не такими, какими-бы они казались, еслибы имѣлось,



Рис. 41. Двойное преломленіе, наблюдаемое черезъ одинъ спайный кусокъ известков. шпата.



Рис. 42. Двойное преломленіе, наблюдаемое черезъ два спайн. куска известк. шпата.

напр., два расположенныхъ одно подлѣ другого освѣщенныхъ отверстія. Если оба спайныхъ куска известковаго шпата расположены строго параллельно, то мы видимъ оба изо-

браженія въ двойномъ разстояніи одно отъ другого (рис. 42), т. е. двойное преломленіе одного спайнаго куска просто на просто



прибавляется къ двойному преломленію другого. Но, какъ скоро мы будемъ вращать одинъ известковый шпатъ, явленіе измѣняется, и, въ общемъ, мы увидимъ четыре изображенія (рис. 43). Оба луча, доставляемые известковымъ шпатомъ представляютъ уже собой не естественный, а прямолинейно поляризованный

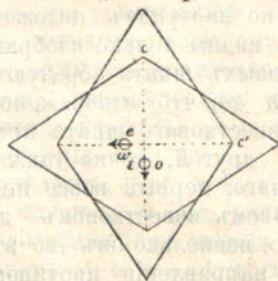
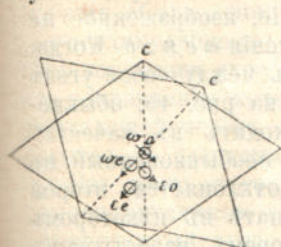


Рис. 43.

Рис. 44.

Рис. 45.

Двойное преломленіе, наблюдаемое черезъ два спайныхъ куска известкового шпата, послѣ вращенія на

45°

90°

180°

свѣтъ. Плоскости колебаній обоихъ лучей всегда перпендикулярны одна къ другой, именно необыкновенный луч  $\varepsilon$  совершаетъ свои колебанія всегда въ главномъ сѣченіи, а обыкновенный  $o$  въ плоскости, къ нему перпендикулярной, какъ это указано стрѣлочками на рис. 41—45.

Явленія, изображенные на рис. 42 и 43 объясняются очень легко. Свѣтъ, прошедшій на рис. 42, черезъ первый известковый шпатъ, въ качествѣ необыкновеннаго луча  $\varepsilon$ , проходитъ и черезъ второй известковый шпатъ, поставленный параллельно первому, также въ качествѣ необыкновеннаго луча  $\varepsilon$  и испытываетъ въ немъ такое же отклоненіе и въ ту же сторону, что и въ первомъ, слѣд. онъ отклоняется на двойное разстояніе. Другой лучъ проходитъ черезъ оба известковыхъ шпата въ качествѣ обыкновеннаго луча  $o$  и не испытываетъ отклоненія. Если же мы повернемъ второй известковый шпатъ на 45° по отношенію къ первому, какъ это показано на рис. 43, то обыкновенный лучъ  $o$  первого разложится во второмъ на двѣ слагающихъ, соответствующихъ обѣимъ плоскостямъ колебаній обыкновеннаго ( $o$ ) и необыкновеннаго луча ( $e$ ) во второмъ известковомъ шпатѣ; такимъ образомъ обыкновенный лучъ даетъ опять два изображенія, изъ которыхъ одно  $oo$  произошло отъ луча, проходящаго черезъ оба известковыхъ шпата въ качествѣ обыкновеннаго луча, и не испытывающаго поѣтому никакого отклоненія, другое же изображеніе  $oe$  обязано своимъ происхожденіемъ слагающей, соответствующей необыкновенному лучу второго известковаго шпата, и поѣтому представляется отклоненнымъ въ плоскости главнаго сѣченія второго известковаго шпата. Такимъ же точно образомъ отъ необыкновеннаго луча  $\varepsilon$  первого известковаго шпата происходятъ два изображенія  $\varepsilon e$  и  $e e$ , которые обозначены на рис. 43 на соот-



вѣтствующихъ мѣстахъ. При томъ положеніи, когда оба главныхъ сѣченія образуютъ между собою уголъ въ  $45^\circ$ , оба изображенія  $\omega o$  и  $\varepsilon e$  являются болѣе свѣтлыми, чѣмъ два другихъ; при вращеніи на уголъ въ  $45^\circ$  — два послѣднихъ изображенія дѣлаются болѣе свѣтлыми на счетъ двухъ первыхъ, до тѣхъ поръ, пока, при вращеніи на  $90^\circ$ , не наступитъ положеніе, изображенное на рис. 44, при которомъ видны только изображенія  $\omega e$  и  $\varepsilon o$ . Когда, наконецъ, оба известковыхъ шпата образуютъ между собой уголъ въ  $180^\circ$ , то получается то, что изображено на рис. 45; обыкновенный лучъ одного известковаго шпата проходитъ въ качествѣ обыкновеннаго черезъ другой, точно также необыкновенный въ качествѣ необыкновеннаго; первый вовсе не отклоняется, второй же отклоняется въ первомъ известковомъ шпатѣ въ нѣкоторомъ направленіи настолько, насколько онъ во второмъ известковомъ шпатѣ отклоняется въ направленіи противоположномъ, такъ что, въ результатѣ, оба изображенія вполне сливаются.

Если изъ кристалла известковаго шпата вырѣзать рядъ различно ориентированныхъ призмъ, то черезъ нихъ можно видѣть также два изображенія свѣтлаго отверстія, которыя, однако, различно удалены одно отъ другого, смотря по тому, какъ ориентированы призмы. Опредѣливъ по этимъ призмамъ показатели преломленія, увидимъ, что показатели преломленія обоихъ перпендикулярно другъ къ другу поляризованныхъ лучей различны, причемъ величина для сильнѣе преломляющагося луча остается во всѣхъ призмахъ одинаковой, тогда какъ для другого луча она является переменною. Для послѣдняго луча показатель преломленія будетъ наименьшей величины въ такой призмѣ, у которой преломляющее ребро идетъ параллельно главной кристаллографической оси. Такимъ образомъ, различіе въ скорости распространенія обоихъ лучей достигаетъ наибольшей величины тогда, когда свѣтъ распространяется перпендикулярно къ главной кристаллографической оси. Наоборотъ, призма, преломляющее ребро которой перпендикулярно къ этому направленію и грани которой образуютъ одинаковые углы съ базисомъ, при опредѣленіи показателей преломленія по способу наименьшаго отклоненія, даетъ только одну величину. Въ этомъ случаѣ свѣтъ распространяется параллельно главной кристаллографической оси и, слѣдовательно, къ свѣту, распространяющемуся по этому направленію, известковый шпатъ относится какъ однопреломляющее тѣло.

То направленіе въ двоякопреломляющемъ кристаллѣ, по которому свѣтъ проходитъ не испытывая двойного преломленія называютъ оптической осью. Известковый шпатъ и съ нимъ всѣ гексагональные и тетрагональные кристаллы обладаютъ только однимъ такимъ направленіемъ; поэтому ихъ называютъ оптически одноосными. Тотъ изъ лучей, который обладаетъ по всѣмъ направленіямъ одинаковою скоростью распространенія есть обыкновенный лучъ; другой, у котораго свѣтопреломленіе, а слѣд. и скорость рас-



пространенія зависитъ отъ направленія, по которому совершаются колебанія свѣта, есть лучъ необыкновенный. На основаніи многочисленныхъ наблюденій надъ плоскостями колебаній обоихъ, перпендикулярно другъ къ другу поляризованныхъ лучей можно съ большою вѣроятностью допустить, что колебанія обыкновеннаго луча совершаются всегда въ направленіи перпендикулярномъ къ оптической оси, тогда какъ колебанія необыкновеннаго луча происходятъ въ плоскости перпендикулярной къ направленію колебаній обыкновеннаго луча и въ то же время проходящей черезъ оптическую ось, т. е. эти колебанія совершаются въ главномъ сѣченіи.

Изъ всего этого слѣдуетъ, что всѣ направленія колебаній, перпендикулярныя къ оптической оси, равнозначны, такъ какъ обыкновенный лучъ, колеблющійся всегда перпендикулярно къ оптической оси, обладаетъ во всѣхъ случаяхъ одинаковымъ свѣтопреломленіемъ. Наоборотъ, лучъ, совершающій свои колебанія параллельно оптической оси, обнаруживаетъ наибольшее отлічіе отъ обыкновеннаго луча, и въ промежуточныхъ направленіяхъ колебаній свѣтопреломленіе тѣмъ болѣе приближается къ свѣтопреломленію обыкновеннаго луча чѣмъ больше наклонъ даннаго направленія къ оптической оси.

Показатель преломленія обыкновеннаго луча обозначаютъ обыкновенно буквой  $\omega$ , наиболѣе же отъ него отличающійся — показателемъ преломленія луча необыкновеннаго — буквой  $\varepsilon$ ; при этомъ имѣются два случая: или  $\omega > \varepsilon$ , какъ у известковаго шпата,

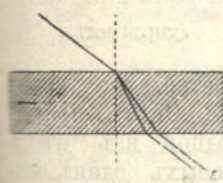


Рис. 46.

Отрицат. двойное  
преломленіе.

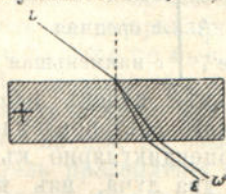


Рис. 47.

Положит. двойное  
преломленіе.

т. е. обыкновенный лучъ сильнѣе преломляется, чѣмъ необыкновенный — такіе кристаллы называются отрицательными (рис. 46); или же  $\varepsilon > \omega$ , такіе кристаллы называютъ положительными (рис. 47).

Такъ какъ скорости распространенія свѣта стоятъ въ обратномъ отношеніи къ показателю преломленія, то въ отрицательномъ кристаллѣ съ большей скоростью распространяется необыкновенный, а въ положительномъ — обыкновенный лучъ. Обозначивъ направленіе колебанія, совершающагося съ наибольшей скоростью — въ то же время направленіе наибольшаго свѣтопреломленія — черезъ  $a$ , соответствующій показатель преломленія черезъ  $\alpha$ , направленіе колебанія съ наименьшей скоростью черезъ  $c$ , а соответствующій показатель преломленія черезъ  $\gamma$ , получаемъ  $c = a$  символъ отрицательнаго,  $c = c$  символъ положительнаго кристалла, гдѣ  $c$  есть знакъ оптической оси, при  $\omega = \varepsilon$  или  $\varepsilon = \omega$ , или вообще  $\gamma = \alpha$  является величиной одинаковаго преломленія.

Въ кристаллахъ ромбической, моноклинической и



триклинической системѣ наблюдаются еще болѣе сложные соотношенія. Если мы, напр. будемъ разсматривать свѣтлое отверстіе ширмочки сквозь различныя пластинки, приготовленныя изъ арагонита, то, въ общемъ случаѣ, мы опять таки увидимъ два изображенія отверстія, но оба эти изображенія кажутся передвинутыми съ прежняго мѣста: такимъ образомъ, свѣтъ разлагается здѣсь на два необыкновенныхъ луча, которые опять таки всегда поляризованы перпендикулярно другъ къ другу. Опредѣливъ на рядѣ призмъ изъ арагонита его показатели преломленія, мы увидимъ, что ни одинъ изъ нихъ не является постояннымъ. Maximum и minimum свѣтопреломленія наблюдается въ той призмѣ, въ которой распространеніе свѣта совершается параллельно кристаллографической оси  $a$ . Въ такомъ случаѣ оба перпендикулярно другъ къ другу колеблющихся луча производятъ свои колебанія параллельно двумъ другимъ кристаллографическимъ осямъ, которыя такимъ образомъ являются направленіями наибольшей и наименьшей скорости колебаній или, соотвѣтственно этому, направленіями наименьшаго и наибольшаго свѣтопреломленія въ кристаллѣ; по вѣмъ другимъ направленіямъ наблюдаются показатели преломленія, лежащіе между этими крайними величинами, точно также и для свѣта, колеблющагося въ направленіи самой оси  $a$ . Поэтому, въ арагонитѣ нужно отличать въ оптическомъ отношеніи три взаимно перпендикулярныхъ направленія, которыя совпадаютъ съ кристаллографическими осями.

$$\text{Свѣтопреломленіе} \left\{ \begin{array}{l} \text{наименьшее } \alpha \\ \text{среднее } \beta \\ \text{наибольшее } \gamma \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} a \text{ наибольшая} \\ b \text{ средняя} \\ c \text{ наименьшая} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \text{скорость колебаній} \\ \text{(упругость).} \end{array} \right.$$

Разсмотримъ внимательнѣе пучекъ плоскостей, ось котораго есть направленіе средняго свѣтопреломленія. Свѣтъ, проходящій черезъ минераль перпендикулярно къ одной изъ этихъ плоскостей, разлагается на два луча, изъ которыхъ одинъ колеблется во вѣхъ случаяхъ со средней скоростью, другой колеблется въ направленіи къ нему перпендикулярномъ; направленіе его колебаній совпадаетъ или съ направленіемъ наименьшаго ( $\alpha$ ) или съ направленіемъ наибольшаго ( $\gamma$ ) свѣтопреломленія, или же соотвѣтствуетъ любой средней величинѣ между этими двумя. Среди этихъ величинъ находится также величина  $\beta$  (рис. 48), которая  $= \beta$ ; для направленія распространенія свѣта  $AA$ , лежащаго въ плоскости  $\alpha\gamma$  и перпендикулярнаго къ плоскости  $\beta\beta'$ , имѣются, слѣдовательно, два равнозначущихъ, перпендикулярныхъ другъ къ другу направленія колебаній, слѣд.  $AA$  есть оптическая ось. Простое разсужденіе показываетъ, что второе направленіе, равнозначущее  $AA$ , лежитъ симметрично по отношенію къ  $AA$ , въ плоскости  $\alpha\gamma$  по другую сторону отъ  $\alpha$ , такъ что  $\alpha$  и  $\gamma$  дѣлятъ пополамъ углы между этими оптическими осями. Другого подобнаго направленія кромѣ этихъ двухъ не имѣется, поэтому арагонитъ, а вмѣстѣ съ нимъ всѣ кристаллы ромби-



тесской, моноклинической и триклинической системъ—оптически двуосны.

Плоскость, въ которой лежатъ обѣ оптическія оси, называютъ плоскостью оптическихъ осей; направленія наибольшаго ( $\gamma$ ) и наименьшаго ( $\alpha$ ) свѣтопреломленія, дѣлящая пополамъ углы между оптическими осями, называютъ средними линіями или биссектрисами; направленіе средняго свѣтопреломленія ( $\beta$ ), перпендикулярное къ плоскости оптическихъ осей—оптической нормалью. Оптическія оси съ одной

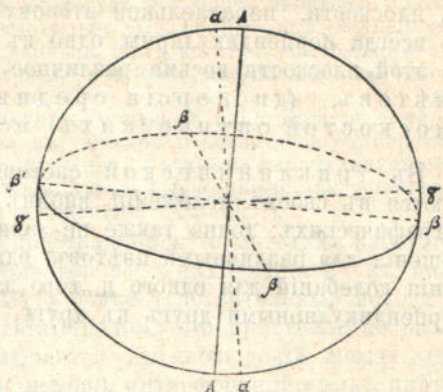


Рис. 48.

Построеніе одной оптической оси въ арагонитѣ.

стороны заключаютъ острый, а съ другой стороны—тупой уголъ; линію, дѣлящую пополамъ острый уголъ называютъ первой или острой, а линію, дѣлящую пополамъ тупой уголъ—второй или тупой средней линіей или биссектрисой; когда первая средняя линія есть направленіе наименьшаго свѣтопреломленія ( $\alpha$ ), то кристаллъ называется отрицательнымъ; если же она совпадаетъ съ направленіемъ наибольшаго свѣтопреломленія ( $\gamma$ )—положительнымъ. Величина средняго свѣтопреломленія можетъ быть для к. н. опредѣленнаго свѣта среднимъ арифметическимъ изъ величины наибольшаго и наименьшаго свѣтопреломленія, но обыкновенно это бываетъ не такъ. Средній показатель преломленія тѣмъ болѣе приближается къ показателю преломленія по направленію второй биссектрисы, чѣмъ меньше острый уголъ между оптическими осями, до тѣхъ поръ, пока, при углѣ оптическихъ осей  $= 0^\circ$ , оба направленія не становятся равнозначными, т. е. пока кристаллъ не сдѣлается однооснымъ.

Такъ какъ свѣтопреломленіе въ одномъ и томъ же кристаллѣ различно для различныхъ цвѣтовъ, то углы оптическихъ осей для разныхъ цвѣтовъ должны быть также различны; иногда для краснаго цвѣта ( $\rho$ ) больше, чѣмъ для фіолетоваго—это обозначаютъ символомъ дисперсіи  $\rho > v$ ; въ противномъ случаѣ, имѣемъ  $v > \rho$ .

Какъ было показано на примѣрѣ арагонита, въ ромбическихъ кристаллахъ плоскость оптическихъ осей всегда параллельна одному изъ трехъ пинакловъ, такъ какъ направленія наибольшей и наименьшей скорости свѣта совпадаютъ съ двумя кристаллографическими осями. Въ моноклинической системѣ одно изъ трехъ главныхъ направленій колебаній совпа-



даетъ, съ кристаллографической осью *o* (*Querachse*), и притомъ для всѣхъ цвѣтовъ, два же другихъ располагаются произвольно въ плоскости, параллельной второму пинаконду (*Längsfläche*), но всегда перпендикулярны одно къ другому; они могутъ имѣть въ этой плоскости весьма различное положеніе для различныхъ цвѣтовъ, (дисперсія среднихъ линій, и дисперсія плоскостей оптическихъ осей).

Въ триклинической системѣ оптическіе элементы являются въ своемъ положеніи вполне независимыми отъ кристаллографическихъ; точно также не зависятъ другъ отъ друга соотношенія для различныхъ цвѣтовъ; однако три главныхъ направленія колебаній для одного и того же цвѣта и здѣсь остаются перпендикулярными другъ къ другу.

### Ислѣдованія съ однимъ николемъ. Плеохроизмъ.

Свѣтъ, вступающій въ кристаллъ, не принадлежащій къ кубической системѣ, разлагается, въ общемъ случаѣ, на два колебанія, которыя распространяются съ различной скоростью и обнаруживаютъ различное поглощеніе свѣта (абсорбцію) т. е. обладаютъ различными цвѣтами, если различіе въ поглощеніи свѣта настолько велико, что можетъ быть замѣчено подъ микроскопомъ. Если мы освѣтимъ двупреломляющій кристаллъ обыкновеннымъ свѣтомъ, то въ каждый данный моментъ будемъ наблюдать среднее изъ обоихъ колебаній, т. к. вслѣдствіе быстрой смѣны плоскостей колебаній естественнаго свѣтового луча, въ каждый моментъ черезъ кристаллъ проходитъ одинаковое количество свѣта параллельно каждому изъ обоихъ направленій колебаній; такимъ образомъ, если мы будемъ смотрѣть черезъ грань кристалла въ обыкновенномъ свѣтѣ, то будемъ наблюдать среднее свѣтопреломленіе и средній цвѣтъ (*Mischfarbe*), который называютъ *гранной окраской*. Если же въ двоякопреломляющій кристаллъ вступаетъ свѣтъ прямолинейно-поляризованный, то слагающія, соотвѣтствующія обоимъ направленіямъ колебаній въ кристаллѣ будутъ только тогда равны между собою, когда эти колебанія образуютъ съ николемъ уголъ въ  $45^{\circ}$ ; одна изъ слагающихся будетъ равна нулю, т. е. мы будемъ наблюдать колебанія, происходящія только параллельно другому направленію, — въ томъ случаѣ, если направленіе колебаній въ николѣ совпадаетъ съ этимъ послѣднимъ направленіемъ. Мы можемъ послѣдовательно наблюдать свойства обоихъ лучей, проходящихъ черезъ кристаллъ, если оба направленія колебаній приведемъ одно послѣ другого въ положеніе, параллельное поляризатору. Мы будемъ такимъ образомъ наблюдать показатели преломленія, цвѣтъ и пр. одного опредѣленнаго направленія и тѣ различія, которыя обнаруживаются по различнымъ направленіямъ колебаній.



Для всѣхъ исследованийъ такого рода пользуются находящимся подъ препаратомъ поляризаторомъ, а анализаторъ удаляютъ. Если же не удалить анализатора, то часто могутъ помѣшать наблюденію явленія интерференціи, правда не особенно сильно выраженные, вызываемыя тѣмъ, что свѣтъ, отраженный отъ зеркальца, самъ по себѣ нѣсколько поляризуется черезъ отраженіе. По этой же причинѣ едва-ли можно рекомендовать пользоваться такъ называемымъ окулярнымъ дихроскопомъ. Онъ состоитъ изъ двупреломляющей пластинки известкового шпата, которая вкладывается въ окуляръ и позволяетъ одновременно наблюдать оба цвѣта, свойственные двумъ взаимно перпендикулярнымъ направленіямъ въ объектѣ. Упомянутая выше частичная поляризація сильно вліяетъ на наблюденіе и сравненіе цвѣтовъ \*).

Здѣсь мы далѣе не распространяемся о методахъ наблюденій свѣтопреломленія съ поляризаторомъ, находящимся въ микроскопѣ, тѣмъ болѣе, что гораздо болѣе чувствительный методъ для установленія различій въ свѣтопреломленіи кристалла по различнымъ направленіямъ заключается въ наблюденіи между двумя никелевыми призмами, при помощи интерференціонныхъ цвѣтовъ. Здѣсь слѣдуетъ только разсмотрѣть различія въ поглощеніи свѣта кристалломъ по различнымъ направленіямъ, т. е. явленія, извѣстныя подъ названіемъ плеохроизма.

Такъ какъ въ кубическомъ кристаллѣ или въ аморфномъ тѣлѣ поглощеніе свѣта по всѣмъ направленіямъ одинаково, то разрывъ такихъ тѣлъ являється, при полномъ вращеніи столика надъ поляризаторомъ, окрашенными всегда въ одинъ и тотъ же цвѣтъ. У оптически однооснаго минерала всѣ направленія, перпендикулярныя къ оптической оси, одинаковы въ оптическомъ отношеніи, поэтому и поглощеніе свѣта, обнаруживаемое обыкновеннымъ лучемъ, колеблющимся перпендикулярно къ оптической оси, будетъ въ любомъ разрывѣ одно и то же, тогда какъ поглощеніе необыкновеннаго луча различно и тѣмъ болѣе отличается отъ поглощенія луча обыкновеннаго, чѣмъ болѣе его направленіе отклоняется отъ направленія оптической оси. Такимъ образомъ, цвѣтъ обыкновеннаго луча мы можемъ наблюдать въ любомъ разрывѣ, цвѣтъ же луча необыкновеннаго только въ разрывѣ, проведенномъ параллельно оптической оси кристалла. Далѣе, въ разрывѣ, проведенномъ перпендикулярно къ оптической оси, мы имѣемъ дѣло только съ цвѣтомъ обыкновеннаго луча, поэтому въ разрывѣ, при вращеніи столика надъ поляризаторомъ, является одно время окрашеннымъ въ одинъ и тотъ же цвѣтъ. Такъ какъ вообще, при этихъ явленіяхъ, мы имѣемъ дѣло только съ двумя цвѣтами: обыкновеннаго и необыкновеннаго луча, то оптически

\* Для одновременнаго наблюденія подъ микроскопомъ двухъ цвѣтовъ плеохроичнаго минерала А. П. Карпинскимъ былъ предложенъ двойной поляризаторъ, дающій возможность уловить даже самый слабый плеохроизмъ. Этотъ поляризаторъ состоитъ изъ двухъ соединенныхъ призмъ, главные сѣченія которыхъ перпендикулярны, благодаря чему поле зрѣнія микроскопа является раздѣленнымъ чертой. При исследованіи плеохроичнаго минерала, части разрыва, расположенныя по одну и по другую сторону черты, обнаруживаютъ раз-  
личныя окраски. Прилож. перев.



одноосные кристаллы, которые ясно обнаруживаютъ отличіе въ этихъ цвѣтахъ, называютъ также дихроичными.

У оптически двѣхъ кристалловъ для цвѣта, также какъ и для свѣтопреломленія, имѣютъ значеніе три различныхъ направленія колебаній, по которымъ мы наблюдаемъ крайнія величины для окраски: эти кристаллы трихроичны. Чистый цвѣтъ, свойственный такому направленію, можно наблюдать только въ разрьзѣ, параллельномъ этому направленію; во всѣхъ другихъ получается смѣшанный цвѣтъ. Въ ромбической системѣ направленія колебаній наибольшей, средней и наименьшей свѣтопреломляемости суть въ то же время оси для цвѣтовъ; въ моноклинической системѣ только одна кристаллографическая ось *b* (Querachse) есть въ то же время цвѣтовая ось, двѣ же другія лежатъ произвольно въ плоскости симметріи, но однако, большею частію, не очень отклоняются отъ положенія направленій колебанія свѣта; наконецъ, въ триклинической системѣ оба рода колебаній не зависятъ другъ отъ друга. Цвѣтовые оси, лежащія въ плоскости симметріи моноклинической системы, точно такъ же, какъ всѣ три цвѣтовые оси триклинической системы не перпендикулярны другъ къ другу.

Различіе въ поглощеніи свѣта по различнымъ направленіямъ въ кристаллѣ, которое мы, въ общемъ, и называемъ плеохроизмомъ, бываетъ въ отдѣльных случаяхъ, въ особенности у безцвѣтныхъ кристалловъ, столь невелико, что его трудно наблюдать даже въ толстыхъ слояхъ; т. е. цвѣтъ к. н. разрьза а вмѣстѣ съ этимъ и различія въ цвѣтѣ по различнымъ направленіямъ дѣлаются тѣмъ менѣе отчетливы, чѣмъ тоньше данный слой, то въ микроскопическихъ препаратахъ можно обыкновенно наблюдать плеохроизмъ только у тѣхъ веществъ, которые обнаруживаютъ очень сильное различіе въ поглощеніи свѣта по различнымъ направленіямъ. Въ изслѣдованіи плеохроизма мы имѣемъ важное вспомогательное средство при микроскопическихъ опредѣленіяхъ, хотя надо замѣтить, что, при изслѣдованіи слабого плеохроизма, довольно много зависитъ отъ глаза наблюдателя.

При изслѣдованіи плеохроизма бываетъ полезно отличать три случая, которые можно себѣ лучше всего уяснить при помощи скалы цвѣтовъ (скалы цвѣтовъ Радде), представляющей собой въ горизонтальныхъ рядахъ различные цвѣта, а въ вертикальныхъ—различные, по интенсивности, ихъ оттѣнки—отъ самыхъ темныхъ до самыхъ свѣтлыхъ тоновъ. При этомъ возможны слѣдующіе случаи:

1. По различнымъ направленіямъ въ кристаллѣ поглощаются различныя части спектра и именно такъ, что интенсивность свѣта, проходящаго по каждому направленію, остается приблизительно одной и той же; поэтому мы будемъ наблюдать по различнымъ направленіямъ различные цвѣта, но каждый изъ нихъ будетъ приблизительно такъ же интенсивенъ, какъ и другой (горизонтальный рядъ скалы цвѣтовъ).

2. По каждому направленію поглощаются приблизительно одѣи и тѣ же части спектра, но съ весьма различною интенсивностью; въ этомъ случаѣ мы будемъ наблюдать по всѣмъ направленіямъ одинъ и тотъ же цвѣтъ, но въ различныхъ тонахъ (вертикальный рядъ скалы цвѣтовъ).

3. По различнымъ направленіямъ поглощаются различныя части спектра и съ различной интенсивностью; отличіе различныхъ цвѣтовъ мы узнаемъ по различной высотѣ тоновъ (диагональныя линіи скалы цвѣтовъ).

Различеніе этихъ трехъ случаевъ часто даетъ весьма характерные признаки; такъ, напр., плеохроичный пироксенъ часто обнаруживаетъ



по одному направленію свѣтлозеленый цвѣтъ, по другому—свѣтложелтый; одинаково же съ нимъ окрашенная обыкновенная роговая обманка позволяетъ б. ч. обнаружить болѣе сильное поглощеніе зеленого луча, т. е. плеохроизмъ отъ темнозеленаго къ свѣтложелтому, тогда какъ у біотита мы обыкновенно имѣемъ различное поглощеніе одного и того же цвѣта, напр., отъ свѣтлобурого къ темно-бурому.

Сила плеохроизма въ одномъ и томъ же кристаллѣ зависитъ отъ его толщины, и часто въ толстыхъ слояхъ можно еще отчетливо наблюдать явленіе плеохроизма, когда въ тонкихъ шлифахъ уже ничего болѣе не видно. Столь сильное поглощеніе одного луча, что по данному направленію совсѣмъ не проходитъ свѣтъ, даже въ тончайшихъ шлифахъ, можно наблюдать очень рѣдко; почти всегда можно, даже у наиболѣе сильно поглощающихъ минераловъ, въ достаточно тонкомъ слое, наблюдать цвѣтъ наиболѣе поглощеннаго луча.

Весьма важна также ориентировка лучей въ различной степени поглощенныхъ въ кристаллѣ, такъ какъ она является весьма постоянной для одного и того же вещества. Такъ, напр., у турмалина сильнѣе всегда поглощается обыкновенный лучъ, у окрашеннаго апатита—необыкновенный; турмалиновые призмы кажутся темными, когда главная ось турмалина перпендикулярна къ направленію колебаній въ поляризаторѣ, призмы же апатита—наоборотъ, тогда, когда оба эти направленія параллельны. Изъ этого примѣра, далѣе, слѣдуетъ, что не всегда болѣе сильно преломляющійся лучъ долженъ быть и болѣе сильно поглощаемымъ; такъ какъ оба упомянутые минерала оптически отрицательны, то, слѣдовательно, необыкновенный лучъ, совершающій свои колебанія параллельно главной оси, является въ обоихъ случаяхъ лучемъ менѣе сильно преломленнымъ.

Въ видѣ исключенія здѣсь слѣдуетъ еще упомянуть объ явленіи т. наз. „плеохроичныхъ участковъ“ (pleochroitische Hölfe) многихъ минераловъ; именно у кордіерита, андалузита, слюды, хлорита, роговой обманки и т. д. можно наблюдать въ шлифѣ такого рода явленія: отдѣльные, болѣею частью сферически ограниченные участки обнаруживаютъ болѣе сильный плеохроизмъ, чѣмъ это обыкновенно имѣетъ мѣсто у даннаго минерала. Если исследовать это явленіе болѣе внимательно, можно всегда замѣтить внутри такого „плеохроичнаго участка“ маленькое включеніе титан-, циркон-, или олово-содержащаго минерала, контуры котораго обведены кругомъ зоной съ болѣе сильнымъ плеохроизмомъ. Зависимость между появленіемъ зоны съ болѣе сильнымъ плеохроизмомъ и химическимъ составомъ включенія не подлежитъ сомнѣнію, хотя, по легкой разрушаемости этихъ участковъ отъ нагрѣванія, раньше предполагали, что здѣсь дѣло идетъ объ органическихъ красящихъ веществахъ.

Далѣе, здѣсь слѣдуетъ еще сказать о двухъ явленіяхъ, которыя иногда могутъ быть наблюдаемы. Одно изъ нихъ есть т. наз. псевдо-дихроизмъ, явленіе, которое наблюдается также и у вполне безцвѣтныхъ кристалловъ. Если въ кристаллѣ имѣются въ значительномъ количествѣ небольшія, параллельно ориентированныя, включения, свѣтопреломленіе которыхъ значительно отличается отъ свѣтопреломленія окружающаго кристалла и если эти включения довольно сильно наклонены къ направленію распространенія свѣта, то этотъ послѣдній, проходя черезъ кристаллъ, будетъ отчасти испытывать отъ этихъ включеній полное внутреннее отраженіе, причемъ менѣе сильно преломляющіеся красные лучи отклоняются болѣе къ срединѣ, а сильнѣе преломляющіеся фіолетовые лучи—къ краю поля зрѣнія. Такое полное внутреннее отраженіе испытываютъ только лучи, совершающіе свои колебанія параллельно направленію расположенія включеній, тогда какъ лучи, колеблющіеся перпендикулярно къ этому направленію, остаются неизмѣненными. Поэтому, если кристаллъ, находящійся въ центрѣ поля зрѣнія, ориентированъ такъ, что направленіе, по которому расположены включения, па-



раллельно главному сѣченію поляризатора, то кристаллъ кажется окрашеннымъ въ интенсивный бурый цвѣтъ; если же кристаллъ находится на краю поля зрѣнія, то онъ окрашенъ въ сѣрый цвѣтъ, тогда какъ, послѣ вращенія на  $90^\circ$ , онъ, въ обоихъ случаяхъ, является безцвѣтнымъ.

Наконецъ, сюда же относится появленіе интерференціонныхъ цвѣтовъ безъ употребленія анализатора. Если въ шлифъ подъ тонкимъ кристалломъ к. н. минерала съ весьма сильной абсорбціей (біотитъ, турмалинъ) находится произвольно ориентированный слой другого двупреломляющаго минерала, то поглощающій кристаллъ, который, дѣйствительно, едва пропускаетъ одинъ изъ лучей, дѣйствуетъ самъ въ качествѣ анализатора, а лежащій подъ нимъ обнаруживается, поэтому, интерференціонные цвѣта. Такъ какъ, при вращеніи препарата, направленіе абсорбціи располагается то параллельно, то перпендикулярно главному сѣченію поляризатора, то, при вращеніи на  $90^\circ$ , наблюдаются всегда дополнительные цвѣта. Подобно этому, появляются интерференціонные цвѣта въ минералахъ съ очень сильнымъ двупреломленіемъ (известковый шпатъ, рutilъ), пронизанныхъ двойниковыми пластинками, положеніе которыхъ наклонно къ плоскости шлифа.

### Исслѣдованія съ двумя николями.

Наблюденія между двумя николевыми призмами производятся почти исключительно при скрещенныхъ плоскостяхъ колебаній этихъ призмъ; поэтому говорятъ о наблюденіяхъ при скрещенныхъ николяхъ.

При обыкновенномъ устройствѣ микроскопа, въ т. наз. параллельномъ поляризованномъ свѣтѣ, при которомъ мы наблюдаемъ увеличенное изображеніе исслѣдуемаго предмета, намъ приходится имѣть дѣло со слѣдующими опредѣленіями:

1. Распознаваніе двойного лучепреломленія.
2. Опредѣленіе положенія направленій колебаній.
3. Измѣреніе силы двойного преломленія.
4. Опредѣленіе относительной скорости обоихъ лучей, колеблющихся въ данномъ разрѣзѣ.

#### 1. Распознаваніе двойного лучепреломленія.

Если мы помѣстимъ между двумя перекрещенными николями какое-нибудь однопреломляющее тѣло или его разрѣзъ, то прямолинейно поляризованный свѣтъ, исходящій изъ поляризатора, не будетъ испытывать въ кристаллѣ никакого измѣненія и достигнетъ въ неизмѣненномъ видѣ анализатора, направленіе колебанія котораго образуетъ  $90^\circ$  съ направленіемъ колебаній достигшаго до него луча; поэтому анализаторъ его не пропускаетъ. Повертывая препаратъ, при помощи вращающагося предметнаго столика на  $360^\circ$ , мы не замѣтимъ никакого измѣненія, т. е. однопреломляющее тѣло остается, при скрещенныхъ николяхъ, темнымъ во всѣхъ положеніяхъ.

Разсматривая же двупреломляющіе кристаллы между скрещенными николями, мы увидимъ, что свѣтъ, выходящій изъ



поляризатора, только тогда не испытывает никакого измѣненія, когда имѣется положеніе, изображенное на рис. 49, т. е. когда направление колебаній  $RR'$  и  $SS'$  въ кристаллѣ вполне параллельны направленимъ колебаній  $PP'$  и  $QQ'$  въ обоихъ николяхъ. Если же направление колебаній  $RR'$  и  $SS'$  расположены под угломъ къ  $PP'$  и  $QQ'$ , какъ это изображено на рис. 50—52, то выходящий изъ поляризатора прямолинейно поляризованный свѣтъ разложится въ кристаллѣ на двѣ слагающихъ  $Or$  и  $Os'$ , которые соответствуютъ направленимъ колебаній въ кристаллѣ и отъ которыхъ, при вторичномъ разложеніи анализаторомъ, происходятъ двѣ слагающихъ  $Oр$  и  $Oз$ , которые проходятъ черезъ анализаторъ и суммируются. Поэтому, пластинка является во всѣхъ остальныхъ положеніяхъ свѣтлой, т. к. при этомъ часть свѣта всегда проходитъ черезъ анализаторъ. Величина слагающихъ  $Oз$  и  $Oр$  даетъ мѣрило свѣта и изъ сравненія рис. 50—52 видно, что свѣтъ достигаетъ своего максимума, когда направление колебаній въ кристаллѣ образуютъ съ направленими колебаній въ николяхъ  $45^\circ$ , какъ это изображено на рис. 51.

Такъ какъ, при горизонтальномъ вращеніи предметнаго столика на  $360^\circ$ , направления колебаній  $RR'$  и  $SS'$  четыре раза

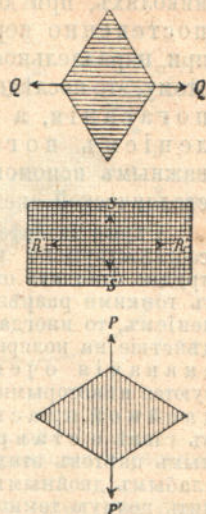


Рис. 49. Направленія колебаній въ кристаллѣ параллельны направленимъ колебаній въ николяхъ.

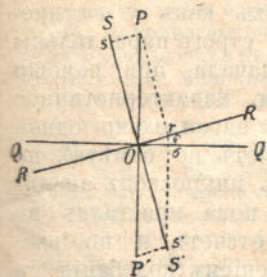


Рис. 50.

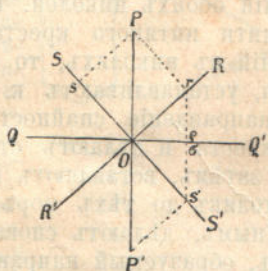


Рис. 51.

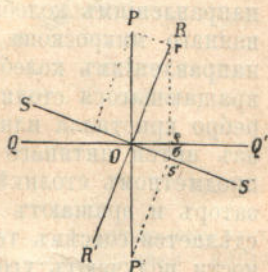


Рис. 52.

Направленія колебаній въ кристаллѣ расположены подъ угломъ къ направленимъ колебаній въ николяхъ.

располагаются параллельно  $PP'$  и  $QQ'$ , то двупреломляющіе кристаллы, при горизонтальномъ вращеніи на  $360^\circ$ , являются между перекрещенными николями четыре раза свѣтлыми и темными. Наибольшее просвѣтленіе, достигаемое тогда, когда направления колебаній въ кристаллѣ образуютъ уголъ въ  $45^\circ$  съ направленими колебаній въ



николяхъ, при дальнѣйшемъ вращеніи, уменьшается и въполнѣ постепенно переходитъ въ полную темноту, которая наступаетъ при параллельности колебаній въ николяхъ и въ кристаллѣ. Поэтому, это послѣднее положеніе называется также положеніемъ погасанія, а направленіе колебаній въ кристаллѣ—направленіемъ погасанія, опредѣленіе котораго часто является важнымъ вспомогательнымъ средствомъ для опредѣленія кристаллической системы.

Сърые интерференціонные цвѣта нисшаго порядка (ср. рис. 58, стр. 61), соответствующіе нисшимъ степенямъ двойного преломленія очень трудно отличать отъ полной темноты. Поэтому, если мы имѣемъ дѣло съ тонкими разрѣзами кристалловъ и очень слабымъ двойнымъ преломленіемъ, то иногда бываетъ трудно рѣшить вопросъ, имѣется ли вообщѣ дѣйствіе на поляризованный свѣтъ, или нѣтъ. Ввиду этого, для распознаванія очень слабаго двойного преломленія пользуются нѣкоторыми вспомогательными аппаратами: *teinte sensible*, двойной пластинкой Бравэ, и т. д., которые подробнѣе описаны въ главѣ о ставроскопахъ. Такъ какъ измѣненіе интерференціонныхъ цвѣтовъ этихъ аппаратовъ, вызываемое пластинками съ весьма слабымъ двойнымъ преломленіемъ, гораздо легче замѣтить, чѣмъ отличить полную темноту отъ весьма слабаго просвѣтленія, то, при пользованіи этими вспомогательными аппаратами, можно даже въ весьма сомнительныхъ случаяхъ рѣшить вопросъ о томъ, имѣется ли двойное преломленіе, или нѣтъ.

## 2. Опредѣленіе положенія направленій колебаній. Ставроскопы.

Положеніе направленій колебаній опредѣляютъ по вышеизложенному, помѣщая кристаллъ между перекрещенными николями въ такомъ положеніи, при которомъ онъ въполнѣ теменъ: тогда направленія колебаній въ кристаллѣ расположены параллельно направленіямъ колебаній обоихъ николей. Такъ какъ у юстированного микроскопа нити нитяного креста строго параллельны направленіямъ колебаній въ николяхъ, то сначала, при помощи вращающагося столика, устанавливаютъ к. н. характеристичное ребро кристалла или направленіе спайности параллельно одной изъ нитей нитяного креста и дѣлаютъ отсчетъ по отмѣткѣ на предметномъ столикѣ; затѣмъ, вставляютъ въ микроскопъ анализаторъ и вращаютъ столикъ до тѣхъ поръ, пока кристаллъ не сдѣлается совсѣмъ темнымъ, дѣлаютъ снова отсчетъ и по разности получаютъ уголъ, образуемый направленіемъ колебаній съ даннымъ ребромъ кристалла или съ направленіемъ спайности.

Однако, довольно трудно произвести точную установку на полную темноту, вслѣдствіе постепеннаго перехода отъ свѣта къ темнотѣ; поэтому, для начинающаго бываетъ трудно найти истинное положеніе темноты, даже болѣе или менѣе приблизительно. Ввиду этого, при подобныхъ опредѣленіяхъ поступаютъ слѣдующимъ образомъ, объясненнымъ на рис. 53.  $PP'$  и  $QQ'$  представляютъ собой и здѣсь направленія колебаній обоихъ николей. Сначала вращаютъ столикъ въ направленіи, указанномъ стрѣлкой I до тѣхъ поръ, пока кристаллъ, длинное



ребро котораго сначала было параллельно  $PP'$ , не займетъ положенія  $A'$ , при которомъ онъ кажется вполне темнымъ; затѣмъ вращаютъ далѣе къ  $QQ'$ . Послѣ этого вращаютъ столикъ назадъ, въ направленіи, указанномъ стрѣлкой II, до тѣхъ поръ, пока не достигается полная темнота, напр. въ положеніи  $A''$ . Направленіе  $a$ , дѣлящее пополамъ уголъ между обоими направленіями  $a'$  и  $a''$ , т. е. среднее изъ обѣихъ установокъ, дастъ истинное направленіе колебаній. Если эту манипуляцію повторять нѣсколько разъ, то, въ среднемъ, изъ большого числа отсчетовъ можно довольно близко подойти къ истинному положенію темноты.

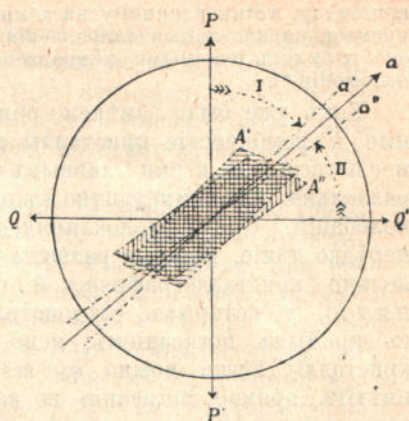


Рис. 53.

Опредѣленіе направленія погасанія.

У гексагональныхъ, тетрагональныхъ и ромбическихъ кристалловъ наблюдается, въ общемъ, прямое (рис. 54) или симметрическое

(рис. 55) погасаніе, такъ какъ направленія колебаній совпадаютъ съ кристаллографическими осями. Далѣе, такъ какъ здѣсь направленія колебаній для всѣхъ цвѣтовъ одни и тѣ же, то опредѣленіе направленія погасанія производятъ въ бѣломъ свѣтѣ. Моноклиническіе кристаллы обладаютъ прямымъ или симметрическимъ погасаніемъ только на плоскостяхъ изъ зоны, параллельной кристаллографической оси  $b$ , тогда какъ на остальныхъ плоскостяхъ обнаруживается косо



Рис. 54.

Прямое

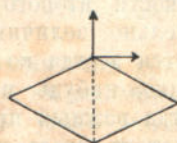


Рис. 55.

Симметрическое погасаніе.



Рис. 56.

Косое

е погасаніе (рис. 56), т. е. несимметрическое отклоненіе въ положеніи направленія колебаній отъ направленія реберъ кристалла. Такъ какъ это отклоненіе для различныхъ цвѣтовъ различно, то установка темноты въ простомъ свѣтѣ не можетъ быть вполне достигнута, и поэтому лучше опредѣлять уголъ погасанія въ монохроматическомъ свѣтѣ, если только дѣло идетъ о точныхъ измѣреніяхъ, а не о простомъ ориентированіи.

Далѣе, когда опредѣляется уголъ погасанія, нужно обращать вниманіе на то, произведено ли измѣреніе впередъ, или назадъ отъ ребра кристалла. Различіе, происходящее отъ смѣшенія этихъ направленій, видно на рис. 56: стрѣлка, изображенная пунктиромъ, показываетъ ошибочно нарисованное направленіе колебаній, а истинное его положеніе указано сплошными стрѣлками. Начинающему лучше всего поступать такъ: приготовить набросокъ кристалла, расположить его параллельно



кристаллу, установленному на темноту и затѣмъ провести на рисунокѣ прямыя, параллельныя направленіямъ колебаній въ обоихъ николяхъ: онѣ и будутъ искомыми направленіями колебаній въ ихъ истинномъ положеніи \*).

Какъ уже было замѣчено ранѣе, гексагональныя, тетрагональныя и ромбическіе кристаллы обнаруживаютъ, въ общемъ, прямое погасаніе, т. к. они главнымъ образомъ бываютъ развиты или параллельно, или симметрично къ одному изъ главныхъ направлений колебаній. Среди моноклиническихъ кристалловъ встрѣчаются нерѣдко такіе, которые развиты въ видѣ длинныхъ призмъ параллельно кристаллографической оси  $b$  (эпидотъ, воластонитъ), у которыхъ, слѣдовательно, главнѣйшая зона есть зона съ прямымъ погасаніемъ; ясно, что развитые такимъ образомъ кристаллы легко можно въ шлифѣ смѣшать съ тѣми, которые имѣютъ прямое погасаніе во всѣхъ разрѣзахъ, потому что разрѣзы, прошедшіе косо къ тому направленію, по которому кристаллы вытянуты, имѣются только въ небольшомъ числѣ. Другіе моноклиническіе кристаллы бываютъ пластинчаты по базису или призматически вытянуты по направленію, лежащему въ плоскости второго пинакоида (010); на такихъ кристаллахъ въ шлифѣ бываетъ всегда гораздо легче распознать моноклиническій характеръ положенія направлений колебаній. Наконецъ, триклиническіе кристаллы могутъ быть развиты очень различно, и только рѣдко можно найти точку опоры, чтобы правильно ихъ ориентировать.

Величина угла погасанія моноклиническаго минерала опредѣляется на плоскости второго пинакоида (010), и данныя, приводимыя относительно величины этого угла, если нѣтъ особыхъ указаній, относятся всегда ко второму пинакоиду. Величина угла погасанія на какой-нибудь промежуточной грани представляетъ собой только тогда важный признакъ для опредѣленія кристалла, если точно извѣстенъ уголъ погасанія на данной грани для даннаго вещества. Уголъ погасанія на данной грани обыкновенно нельзя бываетъ вычислить изъ ея наклона къ плоскости второго пинакоида (010), потому что уголъ погасанія въ зонѣ, напр., отъ второго пинакоида (010) къ первому (100) уменьшается не равномерно и можетъ даже на промежуточной грани достигъ большей величины, чѣмъ на самомъ второмъ пинакоидѣ (010). Такъ какъ уголъ погасанія на грани, поддающейся опредѣленію, представляетъ собой очень характеристичную величину для к. н. вещества, то слѣдовало бы, по крайней мѣрѣ для тѣхъ моноклиниче-

\*) *Монохроматическій свѣтъ*, напримѣръ, натріевый, проще всего получить слѣдующимъ образомъ: надъ обыкновенной газовой горѣлкой помѣщаютъ асбестовую пластину съ продолговатымъ вырѣзомъ, соотвѣственно размѣру пламени. Асбестъ посыпаютъ поваренной солью и заставляютъ пламя проходить черезъ вырѣзъ и касаться одного края асбестовой пластины. Сплавившаяся соль интенсивно окрашиваетъ пламя въ желтый цвѣтъ. Кромѣ натріеваго пламени, для полученія монохроматическаго свѣта употребляются также летучія соли литія, дающія пурпуровый цвѣтъ и соли таллія, дающія зеленый цвѣтъ. *Примѣч. перев.*



скихъ тѣлъ, которыя обладаютъ хорошей спайностью по плоскостямъ призмы, на ряду съ угломъ погасанія на плоскости второго пинакоида, приводятъ также уголъ погасанія на плоскости призмы, т. е., если извѣстенъ самый уголъ призмы, можно изъ этихъ двухъ величинъ вычислить непосредственно истинный уголъ между оптическими осями.

Лучше всего можно иллюстрировать эти соотношенія примѣромъ діопсида, который на плоскости второго пинакоида (010) обнаруживаетъ уголъ погасанія въ  $38^\circ$ . Если мы измѣримъ, при помощи одного изъ описанныхъ въ приложеніи вращательныхъ аппаратовъ, уголъ погасанія на кристаллѣ въ зонѣ отъ второго пинакоида къ первому, на различныхъ, наклоненныхъ другъ къ другу подъ угломъ въ  $10^\circ$  граняхъ, и нанесемъ полученныя величины на вертикальной оси ординатъ, причѣмъ отрѣзки горизонтальной оси абсциссъ будутъ изображать наклонъ данной грани къ плоскости второго пинакоида, то мы получимъ кривую, изображенную на рис. 57, по которой непосредственно можно отсчитать уголъ погасанія для любой грани данной зоны; такъ, напр., для призмы, уголъ которой для пироксена близокъ къ  $90^\circ$ , для шлюмина, слѣд., равняется около  $45^\circ$  и на которой наблюдается

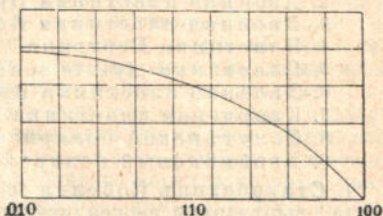


Рис. 57. Кривая для угловъ погасанія діопсида.

уголъ погасанія въ  $30^\circ$ . Изъ разсмотрѣнія этой кривой мы можемъ вывести еще слѣдующее заключеніе, въ особенности важное для изслѣдованія шлифовъ. Такъ какъ уголъ погасанія у пироксена, начиная отъ перваго пинакоида (100), на которомъ имѣетъ мѣсто симметрическое погасаніе, очень быстро увеличивается, то прямое погасаніе можно встрѣтить только въ очень точно ориентированныхъ разрѣзахъ, въ шлифѣ встрѣчающихся, конечно, очень рѣдко. Такимъ образомъ можно легко впасть въ ошибку, предположивъ, что передъ нами триклиническій минералъ, который во всѣхъ разрѣзахъ обладаетъ косымъ погасаніемъ.

У триклиническихъ минераловъ только тогда имѣетъ значеніе определеніе угла погасанія, если можно точно ориентировать грань, черезъ которую наблюдаютъ. Установить ориентировку второго пинакоида моноклиническаго кристалла легко на основаніи ниже описанныхъ методовъ изслѣдованія въ сходящемся свѣтѣ, т. е. эта плоскость лежитъ параллельно или перпендикулярно плоскости оптическихъ осей; что же касается триклиническихъ кристалловъ, то у нихъ подобное определеніе совершенно оптическимъ путемъ вообще не представляется возможнымъ. Иногда расположеніе трещинокъ спайности, двойниковыхъ поверхностей и т. д. даютъ нѣкоторую точку опоры, и только въ



такихъ случаяхъ опредѣленіе угла погасанія у триклиническихъ кристалловъ имѣетъ нѣкоторое значеніе.

Простая установка на темноту, въ томъ видѣ, какъ она была выше описана, является недостаточной для точныхъ измѣреній, и потому было предложено нѣсколько методовъ, благодаря которымъ результаты получаютъ большую точность. Въ особенности у безцвѣтныхъ минераловъ полезно отыскать, по возможности точно, сначала положеніе погасанія между скрещенными николями и затѣмъ, вращая анализаторъ, наблюдать, просвѣтлится ли постепенно кристаллъ вмѣстѣ съ просвѣтленіемъ всего поля зрѣнія и сохраняетъ ли онъ, при всякомъ положеніи николей, одинаковый тонъ съ окружающимъ полемъ зрѣнія. Если это имѣетъ мѣсто, то только въ этомъ случаѣ установка была хороша.

Когда дѣло идетъ о специальныхъ работахъ, то, для тѣхъ же цѣлей, пользуются рядомъ вспомогательныхъ аппаратовъ, которые вообще называютъ ставроскопами. Наиболѣе важные изъ нихъ слѣдующіе:

1. Ставроскопъ Кобелля.
2. Двойная пластинка Брезина.
3. Двойная пластинка Кальдерона.
4. Пластинка Бертрана.
5. Пластинка „teinte sensible“.
6. Двойная пластинка Бравэ.
7. Кварцевая пластинка Біо.
8. Полутѣневой поляризаторъ.
9. Двойниковый поляризаторъ.

1. Ставроскопъ Кобелля состоитъ изъ пластинки известковаго шпата, вырѣзанной перпендикулярно къ оптической оси, которую помещаютъ между верхней линзой окуляра и насаживающимся анализаторомъ. Тогда въ микроскопѣ наблюдается интерференціонная осевая фигура однооснаго кристалла, которая тотчасъ же сильно искажается, какъ скоро между перекрещенными николями будетъ введено вещество, хотя бы съ самымъ ничтожнымъ двойнымъ преломленіемъ. Направленія колебаній въ изслѣдуемомъ кристаллѣ только тогда установлены правильно, когда исчезаетъ всякое нарушеніе осевого изображенія.

2. Двойная пластинка Брезина замѣняетъ простой аппаратъ Кобелля двумя другъ подлѣ друга лежащими пластинками, также изъ известковаго шпата, которыя вырѣзаны подъ одинаковымъ наклономъ къ базису, симметрично къ линіи соединенія обѣихъ пластинокъ. Наблюдаемое въ этомъ случаѣ комбинированное осевое изображеніе имѣетъ въ срединѣ поля зрѣнія только одну балку, окруженную цвѣтными кривыми. Если направленія колебаній въ кристаллѣ не вполне параллельны направленіямъ колебаній въ николяхъ, то та часть балки, которая расположена надъ кристалломъ будетъ казаться, по отношенію къ остальнымъ частямъ, преломленной.

3. Двойная пластинка Кальдерона обыкновенно вѣдывается въ специально для нея приспособленный окуляръ. Она состоитъ изъ двухъ клинообразныхъ кусковъ известковаго шпата, плоскость соприкосновенія которыхъ, рассматриваемая сверху, представляется въ видѣ рѣзкой линіи, по отношенію къ которой направленія колебаній въ обѣихъ половинкахъ симметричны. Если эта граница вполне параллельна направленіямъ колебаній обѣихъ николей, то обѣ половины погасаютъ въ одинаковой степени. Если же на пути лучей будетъ введена двупреломляющая пластинка, направленія колебаній которой отклонятся отъ таковыхъ въ николяхъ, то степень освѣщенія обѣихъ половинокъ двойной пластинки, направленія колебаній которыхъ расположены косо одно къ другому, будетъ измѣнено въ различной степени и только послѣ точной установки положенія погасанія въ пластинкѣ кристалла, будетъ опять восстановлено одинаковое освѣщеніе.



4. Пластинка Бертрана, подобно предыдущей, вдѣляется въ специальный окуляръ. Она состоитъ изъ четырехъ секторовъ изъ попеременно право- и лѣвовращающаго кварца, который вырѣзанъ перпендикулярно къ оптической оси и имѣетъ толщину приблизительно въ 2,5 мм. Если мы введемъ въ микроскопъ дупреломляющій кристаллъ, то голубовато-бѣлые интерференціонные цвѣта четырехъ секторовъ измѣнятся различнымъ образомъ, если направленія колебаній въ кристаллѣ не вполне совпадаютъ съ таковыми въ николяхъ. Если же это имѣетъ мѣсто, то всѣ четыре сектора должны, при полномъ горизонтальномъ вращеніи николей, всегда быть окрашенными въ одинаковый цвѣтъ.

5. Пластинка „teinte sensible“, изображенная на рис. 58 въ началѣ цвѣтовъ второго порядка, подъ именемъ „фіолетовый I“, готовится обыкновенно такъ, что изъ безцвѣтнаго, слабо преломляющаго свѣтъ минерала (кварцъ, гипсъ) вырѣзывается тонкая пластинка, именно такой толщины, что при перекрещенныхъ николяхъ она даетъ фіолетовый цвѣтъ порядка. Такую пластинку обыкновенно закрѣпляютъ между двумя узкими стеклянными полосками и вводятъ ее въ отверстие, находящееся надъ объективомъ, такъ, чтобы направленія ея колебаній образовали съ направленіями колебаній въ николяхъ уголъ въ  $45^{\circ}$ . Какъ показываетъ рисунокъ 58, достаточно замедленія въ ходѣ лучей на 0,00001 мм., чтобы измѣнить этотъ цвѣтъ, съ одной стороны, въ пурпуровый, съ другой — въ индигово-синій; въ то же время изъ сопоставленія интерференціонныхъ цвѣтовъ на этомъ рисункѣ можно видѣть, что фіолетовый цвѣтъ I (перваго порядка) изъ всѣхъ цвѣтовъ, встречающихся при перекрещенныхъ николяхъ, легче всего даетъ ясно замѣтное измѣненіе. Въ качествѣ „teinte sensible“ можно также пользоваться темнофіолетовымъ цвѣтомъ перваго порядка, который даетъ между параллельными николями пластинка половинной толщины противъ приведенной выше, тогда какъ также часто употребляемая въ качествѣ староскопа пластинка фіолетоваго цвѣта II порядка (въ началѣ цвѣтовъ третьяго порядка) для данныхъ дѣлей менѣе пригодна, такъ какъ здѣсь измѣненіе цвѣта наступаетъ только на большихъ промежутокъ. Пластинка „teinte sensible“ служитъ не только для точной установки направленій колебаній, но также и въ качествѣ компенсатора (см. ниже) или въ качествѣ средства для распознаванія очень слабого двойного преломленія, такъ какъ достаточно ввести въ микроскопъ кристаллъ съ ничтожнымъ двойнымъ преломленіемъ, чтобы сильно повліять на цвѣтъ пластинки.

6. Двойная пластинка Бравэ позволяетъ пользоваться цвѣтомъ teinte sensible въ еще болѣе широкихъ предѣлахъ. Одна изъ склеенныхъ въ рубрикѣ 5 пластинокъ разрѣзается диагонально къ ея направленіямъ колебаній, и одна половина поворачивается вокругъ другой на  $180^{\circ}$ . Тогда въ обѣихъ половинахъ одинаковыя направленія колебаній расположены подъ угломъ въ  $90^{\circ}$  одно по отношенію къ другой, и измѣненіе, которое испытываетъ одно изъ нихъ, отъ введеннаго дупреломляющаго кристалла, въ одномъ направленіи, отражается на другомъ въ противоположномъ направленіи, такъ что, сопоставляя оба измѣненія цвѣта, мы можемъ ихъ замѣтить даже при малѣйшемъ измѣненіи. Эта метода настолько точна, что при помощи ея можно наблюдать двойное преломленіе стекляннаго кубика, которое онъ приобретаетъ, если его сильно сдавить между пальцами. Вообще это самая хорошая метода для распознаванія двойного преломленія, какъ сама по себѣ, такъ и для опредѣленія направленія погасанія; ея значеніе уменьшится только отъ того, что она основывается на измѣненіи интерференціонныхъ цвѣтовъ и, поэтому, не можетъ быть примѣнима въ монохроматическомъ свѣтѣ, т. е. для опредѣленія направленія погасанія монокристалловъ и триклиническихъ кристалловъ.

7. Кварцевая пластинка Біо представляетъ собой пластинку въ 0,5 мм. толщины, вырѣзанную перпендикулярно къ оптической оси, которая обнаруживаетъ между николями, при вращеніи ана-



лизатора, различные характеристичные цвѣта, и среди нихъ, при опредѣленномъ положеніи анализатора, чувствительный фіолетовый цвѣтъ. Этотъ цвѣтъ служить главнымъ образомъ для опредѣленія направленія погасанія у безцвѣтныхъ кристалловъ, а для опредѣленія окрашенныхъ веществъ болѣе пригодны другіе цвѣта. Кромѣ этого, когда найдено настоящее положеніе погасанія, можно его провѣрить, вращая анализаторъ и испытывая такимъ образомъ правильность установки, при различныхъ интерференціонныхъ цвѣтахъ. Кварцевая пластинка Біо обыкновенно вдѣлывается въ такую оправу, что ее можно вставить въ отверстіе, находящееся надъ объективомъ.

8. Полутѣневой поляризаторъ есть николь, который былъ разрѣзанъ посрединѣ нѣсколько наклонъ къ его главному сѣченію и затѣмъ опять склеенъ въ обратномъ положеніи. Такимъ образомъ направленія колебаній образуютъ нѣкоторый уголъ между собою. Онъ вставляется на мѣсто поляризатора, и обѣ половины являются въ одинаковой полутѣни, когда главное сѣченіе анализатора дѣлитъ пополамъ уголъ между ними.

9. Двойниковый поляризаторъ отличается отъ полутѣневого тѣмъ, что направленія колебаній въ обѣихъ половинахъ повернуты на  $90^\circ$  одно по отношенію къ другому. Однако, примѣненіе этихъ обоихъ аппаратовъ весьма ограниченное, потому что здѣсь нужно отчетливо видѣть границу между обѣими половинами поляризатора одновременно съ кристалломъ, т. е. можно пользоваться при этомъ только объективами съ наибольшимъ фокуснымъ разстояніемъ.

Тѣ ставроскопы, которые основаны на измѣненіи интерференціонныхъ цвѣтовъ, могутъ быть примѣняемы исключительно въ бѣломъ свѣтѣ: ими, слѣдовательно, нельзя пользоваться для опредѣленія направленія погасанія сильно диспергирующихъ, моноклиническихъ и триклиническихъ веществъ, которое должно быть совершено въ монохроматическомъ свѣтѣ; въ этомъ случаѣ скорѣе всего можно рекомендовать двойную пластинку Брезина или ставроскопъ Кобелля.

### 3. Измѣреніе силы двойного преломленія. Интерференціонные цвѣта.

Оба луча, на которые разлагается свѣтъ двупреломляющимъ кристалломъ, совершаютъ свои колебанія съ различной скоростью: вслѣдствіе этого они распространяются также съ различной скоростью, и, при выходѣ изъ кристалла, одинъ изъ лучей отстаетъ отъ другого на опредѣленную величину, зависящую отъ различія въ скорости колебаній и отъ толщины кристалла. Когда оба луча сведены анализаторомъ въ одну плоскость колебаній, то они обнаруживаютъ разницу фазъ. При этомъ имѣется слѣдующее положеніе: два прямолинейно поляризованныхъ луча, происшедшіе черезъ двойное преломленіе изъ одного прямолинейно поляризованнаго свѣтового луча, интерферируютъ другъ съ другомъ, если они снова сведены въ одну и ту же плоскость поляризаціи.

Такъ какъ обыкновенный бѣлый свѣтъ состоитъ изъ различныхъ цвѣтовъ съ весьма различной длиной волны  $\lambda$ , то, при опредѣленной толщинѣ кристалла, которой соответствуетъ опредѣленное запаздываніе одного луча по отношенію къ другому, разница фазъ для колебаній различныхъ цвѣтовъ будетъ различная. Такимъ образомъ, для одного опредѣленнаго цвѣта оба луча будутъ, благо-



+ Николл		и Николл		даря интерференціи,	
Черный..... 0				Бѣлый	складываться и, пото-
Желтоватый..... 50				Бѣлый	му, этотъ цвѣтъ высту-
Лавандовый..... 100	$D\frac{1}{2}\lambda$				паетъ съ особенной
Сѣроватосиній..... 150	$D\frac{1}{2}\lambda$			Желтоватобѣлый	яркостью, тогда какъ
Сѣроватобѣлый..... 200	$H\frac{1}{2}\lambda$			Коричневатобѣлый	для другого цвѣта оба
Бѣлый..... 250	$G\frac{1}{2}\lambda$			Коричневожелтый	колебанія будутъ вза-
Сѣтложелтый..... 300	$F\frac{1}{2}\lambda$			Сѣтложелтый	имно уничтожаться и,
Яркожелтый..... 350	$E\frac{1}{2}\lambda$			Сѣтложелтый	поэтому, лучи этого
	$D\frac{1}{2}\lambda$			Красноватобѣлый	цвѣта не пройдутъ че-
	$C\frac{1}{2}\lambda$			Темноватобѣлый	резъ анализаторъ. Та-
	$B\frac{1}{2}\lambda$			Индигосиній	кимъ образомъ вмѣсто
	$A\frac{1}{2}\lambda$			Синій	бѣлаго цвѣта выступа-
Сѣтложелтый..... 430	$H\lambda$			Сѣтложелтый	ютъ цвѣта, которые и
Яркожелтый..... 450	$G\lambda$			Сѣтложелтый	называются интер-
	$F\lambda$			Сѣтложелтый	ференціонными
Сѣтложелтый..... 500	$E\lambda$			Сѣтложелтый	цвѣтами.
Сѣтложелтый..... 530	$D\lambda$			Сѣтложелтый	При интерференціи
Сѣтложелтый..... 550	$C\lambda$			Сѣтложелтый	свѣта нужно различать
Сѣтложелтый..... 568	$B\lambda$			Сѣтложелтый	два случая, смотря по
Сѣтложелтый..... 575	$A\lambda$			Сѣтложелтый	тому, расположена ли
Сѣтложелтый..... 589	$H\frac{1}{2}\lambda$			Сѣтложелтый	плоскость колебаній
	$G\frac{1}{2}\lambda$			Сѣтложелтый	анализатора парал-
	$F\frac{1}{2}\lambda$			Сѣтложелтый	лельно или перпенди-
	$E\frac{1}{2}\lambda$			Сѣтложелтый	кулярно плоскости ко-
	$D\frac{1}{2}\lambda$			Сѣтложелтый	лебаній поляризатора,
	$C\frac{1}{2}\lambda$			Сѣтложелтый	т. к. выходящіе изъ
	$B\frac{1}{2}\lambda$			Сѣтложелтый	кристалла лучи въ
	$A\frac{1}{2}\lambda$			Сѣтложелтый	первомъ случаѣ интер-
Сѣтложелтый..... 728	$H\lambda$			Сѣтложелтый	ферируютъ съ одина-
Сѣтложелтый..... 747	$G\lambda$			Сѣтложелтый	ковой, а во второмъ—
Сѣтложелтый..... 600	$F\lambda$			Сѣтложелтый	съ противоположной
Сѣтложелтый..... 850	$E\lambda$			Сѣтложелтый	фазой. Поэтому, при
Сѣтложелтый..... 910	$D\lambda$			Сѣтложелтый	параллельныхъ нико-
Сѣтложелтый..... 948	$C\lambda$			Сѣтложелтый	ляхъ (    николл), съ
Сѣтложелтый..... 1000	$B\lambda$			Сѣтложелтый	особенной интенсив-
Сѣтложелтый..... 1060	$A\lambda$			Сѣтложелтый	ностью выступаютъ тѣ
Сѣтложелтый..... 1100	$H\frac{1}{2}\lambda$			Сѣтложелтый	цвѣта, которые пога-
Сѣтложелтый..... 1128	$G\frac{1}{2}\lambda$			Сѣтложелтый	саются при скрещен-
Сѣтложелтый..... 1151	$F\frac{1}{2}\lambda$			Сѣтложелтый	ныхъ николяхъ (+ни-
	$E\frac{1}{2}\lambda$			Сѣтложелтый	колл) и обратно, такъ
	$D\frac{1}{2}\lambda$			Сѣтложелтый	что интерференціонные
	$C\frac{1}{2}\lambda$			Сѣтложелтый	цвѣта, которые мы на-
	$B\frac{1}{2}\lambda$			Сѣтложелтый	блюдаемъ между парал-
	$A\frac{1}{2}\lambda$			Сѣтложелтый	лельными николями
	$H\lambda$			Сѣтложелтый	являются дополнитель-
	$G\lambda$			Сѣтложелтый	ными къ тѣмъ, которые
	$F\lambda$			Сѣтложелтый	мы видимъ при скре-
	$E\lambda$			Сѣтложелтый	щенныхъ.
	$D\lambda$			Сѣтложелтый	
	$C\lambda$			Сѣтложелтый	
	$B\lambda$			Сѣтложелтый	
	$A\lambda$			Сѣтложелтый	
	$H\lambda$			Сѣтложелтый	
	$G\lambda$			Сѣтложелтый	
	$F\lambda$			Сѣтложелтый	
	$E\lambda$			Сѣтложелтый	
	$D\lambda$			Сѣтложелтый	
	$C\lambda$			Сѣтложелтый	
	$B\lambda$			Сѣтложелтый	
	$A\lambda$			Сѣтложелтый	
	$H\lambda$			Сѣтложелтый	
	$G\lambda$			Сѣтложелтый	
	$F\lambda$			Сѣтложелтый	
	$E\lambda$			Сѣтложелтый	
	$D\lambda$			Сѣтложелтый	
	$C\lambda$			Сѣтложелтый	
	$B\lambda$			Сѣтложелтый	
	$A\lambda$			Сѣтложелтый	
	$H\lambda$			Сѣтложелтый	
	$G\lambda$			Сѣтложелтый	
	$F\lambda$			Сѣтложелтый	
	$E\lambda$			Сѣтложелтый	
	$D\lambda$			Сѣтложелтый	
	$C\lambda$			Сѣтложелтый	
	$B\lambda$			Сѣтложелтый	
	$A\lambda$			Сѣтложелтый	
	$H\lambda$			Сѣтложелтый	
	$G\lambda$			Сѣтложелтый	
	$F\lambda$			Сѣтложелтый	
	$E\lambda$			Сѣтложелтый	
	$D\lambda$			Сѣтложелтый	
	$C\lambda$			Сѣтложелтый	
	$B\lambda$			Сѣтложелтый	
	$A\lambda$			Сѣтложелтый	
	$H\lambda$			Сѣтложелтый	
	$G\lambda$			Сѣтложелтый	
	$F\lambda$			Сѣтложелтый	
	$E\lambda$			Сѣтложелтый	
	$D\lambda$			Сѣтложелтый	
	$C\lambda$			Сѣтложелтый	
	$B\lambda$			Сѣтложелтый	
	$A\lambda$			Сѣтложелтый	
	$H\lambda$			Сѣтложелтый	
	$G\lambda$			Сѣтложелтый	
	$F\lambda$			Сѣтложелтый	
	$E\lambda$			Сѣтложелтый	
	$D\lambda$			Сѣтложелтый	
	$C\lambda$			Сѣтложелтый	
	$B\lambda$			Сѣтложелтый	
	$A\lambda$			Сѣтложелтый	
	$H\lambda$			Сѣтложелтый	
	$G\lambda$			Сѣтложелтый	
	$F\lambda$			Сѣтложелтый	
	$E\lambda$			Сѣтложелтый	
	$D\lambda$			Сѣтложелтый	
	$C\lambda$			Сѣтложелтый	
	$B\lambda$			Сѣтложелтый	
	$A\lambda$			Сѣтложелтый	
	$H\lambda$			Сѣтложелтый	
	$G\lambda$			Сѣтложелтый	
	$F\lambda$			Сѣтложелтый	
	$E\lambda$			Сѣтложелтый	
	$D\lambda$			Сѣтложелтый	
	$C\lambda$			Сѣтложелтый	
	$B\lambda$			Сѣтложелтый	
	$A\lambda$			Сѣтложелтый	
	$H\lambda$			Сѣтложелтый	
	$G\lambda$			Сѣтложелтый	
	$F\lambda$			Сѣтложелтый	
	$E\lambda$			Сѣтложелтый	
	$D\lambda$			Сѣтложелтый	
	$C\lambda$			Сѣтложелтый	
	$B\lambda$			Сѣтложелтый	
	$A\lambda$			Сѣтложелтый	
	$H\lambda$			Сѣтложелтый	
	$G\lambda$			Сѣтложелтый	
	$F\lambda$			Сѣтложелтый	
	$E\lambda$			Сѣтложелтый	
	$D\lambda$			Сѣтложелтый	
	$C\lambda$			Сѣтложелтый	
	$B\lambda$			Сѣтложелтый	
	$A\lambda$			Сѣтложелтый	
	$H\lambda$			Сѣтложелтый	
	$G\lambda$			Сѣтложелтый	
	$F\lambda$			Сѣтложелтый	
	$E\lambda$			Сѣтложелтый	
	$D\lambda$			Сѣтложелтый	
	$C\lambda$			Сѣтложелтый	
	$B\lambda$			Сѣтложелтый	
	$A\lambda$			Сѣтложелтый	
	$H\lambda$			Сѣтложелтый	
	$G\lambda$			Сѣтложелтый	
	$F\lambda$			Сѣтложелтый	
	$E\lambda$			Сѣтложелтый	
	$D\lambda$			Сѣтложелтый	
	$C\lambda$			Сѣтложелтый	
	$B\lambda$			Сѣтложелтый	
	$A\lambda$			Сѣтложелтый	
	$H\lambda$			Сѣтложелтый	
	$G\lambda$			Сѣтложелтый	
	$F\lambda$			Сѣтложелтый	
	$E\lambda$			Сѣтложелтый	
	$D\lambda$			Сѣтложелтый	
	$C\lambda$			Сѣтложелтый	
	$B\lambda$			Сѣтложелтый	
	$A\lambda$			Сѣтложелтый	
	$H\lambda$			Сѣтложелтый	
	$G\lambda$			Сѣтложелтый	
	$F\lambda$			Сѣтложелтый	
	$E\lambda$			Сѣтложелтый	
	$D\lambda$			Сѣтложелтый	
	$C\lambda$			Сѣтложелтый	
	$B\lambda$			Сѣтложелтый	
	$A\lambda$			Сѣтложелтый	
	$H\lambda$			Сѣтложелтый	
	$G\lambda$			Сѣтложелтый	
	$F\lambda$			Сѣтложелтый	
	$E\lambda$			Сѣтложелтый	
	$D\lambda$			Сѣтложелтый	
	$C\lambda$			Сѣтложелтый	
	$B\lambda$			Сѣтложелтый	
	$A\lambda$			Сѣтложелтый	
	$H\lambda$			Сѣтложелтый	
	$G\lambda$			Сѣтложелтый	
	$F\lambda$			Сѣтложелтый	
	$E\lambda$			Сѣтложелтый	
	$D\lambda$			Сѣтложелтый	
	$C\lambda$			Сѣтложелтый	
	$B\lambda$			Сѣтложелтый	
	$A\lambda$			Сѣтложелтый	
	$H\lambda$			Сѣтложелтый	
	$G\lambda$			Сѣтложелтый	
	$F\lambda$			Сѣтложелтый	
	$E\lambda$			Сѣтложелтый	
	$D\lambda$			Сѣтложелтый	
	$C\lambda$			Сѣтложелтый	
	$B\lambda$			Сѣтложелтый	
	$A\lambda$			Сѣтложелтый	
	$H\lambda$			Сѣтложелтый	
	$G\lambda$			Сѣтложелтый	
	$F\lambda$			Сѣтложелтый	
	$E\lambda$			Сѣтложелтый	
	$D\lambda$			Сѣтложелтый	
	$C\lambda$			Сѣтложелтый	
	$B\lambda$			Сѣтложелтый	
	$A\lambda$			Сѣтложелтый	
	$H\lambda$			Сѣтложелтый	
	$G\lambda$			Сѣтложелтый	
	$F\lambda$			Сѣтложелтый	
	$E\lambda$			Сѣтложелтый	
	$D\lambda$			Сѣтложелтый	
	$C\lambda$			Сѣтложелтый	
	$B\lambda$			Сѣтложелтый	
	$A\lambda$			Сѣтложелтый	
	$H\lambda$			Сѣтложелтый	
	$G\lambda$			Сѣтложелтый	
	$F\lambda$			Сѣтложелтый	
	$E\lambda$			Сѣтложелтый	
	$D\lambda$			Сѣтложелтый	
	$C\lambda$			Сѣтложелтый	
	$B\lambda$			Сѣтложелтый	
	$A\lambda$			Сѣтложелтый	
	$H\lambda$			Сѣтложелтый	
	$G\lambda$			Сѣтложелтый	
	$F\lambda$			Сѣтложелтый	
	$E\lambda$			Сѣтложелтый	
	$D\lambda$			Сѣтложелтый	
	$C\lambda$			Сѣтложелтый	
	$B\lambda$			Сѣтложелтый	
	$A\lambda$			Сѣтложелтый	
	$H\lambda$			Сѣтложелтый	
	$G\lambda$			Сѣтложелтый	
	$F\lambda$			Сѣтложелтый	
	$E\lambda$			Сѣтложелтый	
	$D\lambda$			Сѣтложелтый	
	$C\lambda$			Сѣтложелтый	
	$B\lambda$			Сѣтложелтый	
	$A\lambda$			Сѣтложелтый	
	$H\lambda$			Сѣтложелтый	
	$G\lambda$			Сѣтложелтый	
	$F\lambda$			Сѣтложелтый	
	$E\lambda$			Сѣтложелтый	
	$D\lambda$			Сѣтложелтый	
	$C\lambda$			Сѣтложелтый	
	$B\lambda$			Сѣтложелтый	
	$A\lambda$			Сѣтложелтый	
	$H\lambda$			Сѣтложелтый	
	$G\lambda$			Сѣтложелтый	
	$F\lambda$			Сѣтложелтый	
	$E\lambda$			Сѣтложелтый	
	$D\lambda$			Сѣтложелтый	
	$C\lambda$			Сѣтложелтый	
	$B\lambda$			Сѣтложелтый	
	$A\lambda$			Сѣтложелтый	
	$H\lambda$			Сѣтложелтый	
	$G\lambda$			Сѣтложелтый	
	$F\lambda$			Сѣтложелтый	
	$E\lambda$			Сѣтложелтый	
	$D\lambda$			Сѣтложелтый	
	$C\lambda$			Сѣтложелтый	
	$B\lambda$			Сѣтложелтый	
	$A\lambda$			Сѣтложелтый	
	$H\lambda$ </				



Разсмотримъ внимательнѣе второй случай, съ которымъ почти исключительно приходится имѣть дѣло въ микроскопической техникѣ, и, ради простоты, допустимъ, что к. н. двупреломляющимъ кристалломъ определенной толщины вызывается одинаковое абсолютное запаздываніе для всѣхъ цвѣтовъ. Длина волны для крайняго фіолетоваго цвѣта составляетъ около 380, а для крайняго краснаго—около 775  $\mu$  (милліонныхъ милліметра). Такъ какъ, вслѣдствіе обратнаго измѣненія фазъ колебаній въ анализаторѣ, особенно выступаютъ тѣ цвѣта, для которыхъ запаздываніе  $= \frac{1}{2} \lambda$ , или нечетному числу полуволнъ, а тѣ, которые запаздываютъ одинъ относительно другого на одну или нѣсколько цѣлыхъ волнъ, погасаютъ, то легко можно вывести интерференціонный цвѣтъ кристалла, если извѣстны его толщина и сила двойного преломленія, отъ которыхъ именно и зависитъ запаздываніе. Или же, обратно, по интерференціонному цвѣту, при извѣстной толщинѣ препарата, можно опредѣлить двойное преломленіе, а, по извѣстному двойному преломленію—толщину препарата. Допустимъ, что запаздываніе лучей въ кристаллѣ составляетъ только 50  $\mu$  (ср. рис. 58); тогда для всѣхъ цвѣтовъ, при выходѣ изъ кристалла, получится небольшая разниця фазъ; поэтому, черезъ кристаллъ пройдетъ немного свѣта, но одинаково малое количество отъ каждаго цвѣта, и мы получаемъ впечатлѣніе сѣрой окраски. При большемъ запаздываніи получается лавендовосѣрый тонъ, благодаря нѣскольکو болѣе сильному выступанію фіолетоваго стѣнка; затѣмъ слѣдуютъ свѣтлый сѣро-голубой, зеленовато-бѣлый и, наконецъ, желтовато-бѣлый, потомъ послѣдовательно выступаютъ, нѣсколько сильнѣе, цвѣта: голубой, зеленый и желтый, пока, наконецъ, при запаздываніи приблизительно на 300  $\mu$ , что составляетъ примѣрно пол-волны интенсивнаго желтаго цвѣта, этотъ цвѣтъ не выступитъ особенно ярко; въ то же время крайній фіолетовый цвѣтъ ( $\lambda=380$ ) почти вполнѣ погасаетъ. Получается общее впечатлѣніе яркаго желтаго цвѣта. Если мы будемъ разсматривать этотъ цвѣтъ при помощи спектроסקопа, то замѣтимъ особенно сильный свѣтъ въ желтой части спектра, который на обѣ стороны является менѣе сильнымъ, а въ фіолетовой части уже не видно никакого свѣта. Возьмемъ приблизительно двойное запаздываніе—около 575  $\mu$ ; оно равно цѣлой волнѣ желтаго цвѣта, лежащаго близъ *Na*-линіи; поэтому этотъ цвѣтъ будетъ уничтоженъ, а яркій фіолетовый,—наоборотъ, интерферируетъ съ разницей фазъ приблизительно въ  $1\frac{1}{2} \lambda$  и выступаетъ съ двойной интенсивностью; на другой-же сторонѣ спектра выступаетъ еще немного краснаго цвѣта; поэтому, соответствующимъ интерференціоннымъ цвѣтомъ будетъ красно-фіолетовый (на рис. 58 фіолетовый I), и при спектроскопическомъ изслѣдованіи мы видимъ сильное просвѣтленіе въ фіолетовой части спектра, тогда какъ въ желтой части наблюдается темная полоса. Но такъ какъ, съ другой стороны, фіолетовый цвѣтъ представляетъ собой наименѣе свѣтлый изъ цвѣтовъ спектра, то этотъ интерфе-



ренціонный цвѣтъ чрезвычайно сильно измѣняется отъ ничтожнаго измѣненія въ запаздываніи, какъ это ясно показываетъ рис. 58. Поэтому, этотъ цвѣтъ называютъ чувствительнымъ фіолетовымъ цвѣтомъ (*teinte sensible*). Такимъ же образомъ можно, далѣе, вычислить тѣ измѣненія, которыя испытываетъ бѣлый цвѣтъ при другихъ запаздываніяхъ и можно найти, что за фіолетовымъ цвѣтомъ слѣдуетъ голубой, за этимъ зеленый и т. д. до тѣхъ поръ, пока мы не приходимъ опять къ фіолетовому цвѣту, за которымъ опять слѣдуетъ голубой и т. д. Рядъ цвѣтовъ, отъ одного фіолетоваго къ другому обозначаютъ названіемъ: порядокъ и различаютъ цвѣта перваго, втораго, третьяго, и т. д. по порядку.

Разсмотримъ внимательнѣе, напр., цвѣта третьяго порядка, которые происходятъ отъ запаздыванія на 1500  $\mu$ ; мы увидимъ, что это есть двойная длина волны интенсивнаго краснаго цвѣта тройная голубовато-зеленаго, четверная крайняго фіолетоваго: эти цвѣта будутъ погашены, тогда какъ въ желтомъ и голубомъ будетъ усиленіе цвѣта. Общимъ результатомъ будетъ, вслѣдствіе большей интенсивности желтой части спектра, — желтый тонъ, который, однако, сравнительно съ упомянутымъ раньше желтымъ цвѣтомъ, является нѣсколько смѣшаннымъ и не производитъ впечатлѣнія чистаго желтаго цвѣта, т. е. въ цвѣтахъ высшаго порядка вмѣсто яркихъ цвѣтовъ, какіе встрѣчаются въ нисшемъ порядкѣ, являются матовые смѣшанные цвѣта. Если мы возьмемъ запаздываніе приблизительно въ 5000  $\mu$ , то оно будетъ равняться 7  $\lambda$  интенсивнаго краснаго цвѣта, 8  $\lambda$  оранжеваго, 9  $\lambda$  желто-зеленаго, 10  $\lambda$  зеленаго, 11  $\lambda$  голубого, 12  $\lambda$  голубовато-фіолетоваго, 13  $\lambda$  фіолетоваго; эти цвѣта будутъ, слѣдовательно, погашены, какъ находящіеся между ними цвѣта: красный, желтый, зеленый, голубой и фіолетовый будутъ испытывать сложеніе комбинацій, которыя вмѣстѣ даютъ бѣлый цвѣтъ; эти интерференціонные цвѣта называютъ бѣлымъ высшаго порядка въ отличіе отъ бѣлаго перваго порядка, вызываемаго очень незначительнымъ запаздываніемъ. Различеніе обоихъ родовъ этихъ бѣлыхъ интерференціонныхъ цвѣтовъ бываетъ часто затруднительно начинающаго: бѣлый высшаго порядка, происшедшій отъ многократной интерференціи, имѣетъ часто нѣжный перломутроподобный блескъ, тогда какъ бѣлый цвѣтъ перваго порядка обыкновенно имѣетъ нѣсколько смѣшанъ съ сѣрымъ, зеленымъ и голубымъ.

Чѣмъ больше отверстія освѣтительнаго и наблюдательнаго аппарата, тѣмъ чистѣе являются интерференціонные цвѣта, съ одной стороны отъ того, что свѣтъ, проходя черезъ линзы въ очень косомъ направленіи, испытываетъ въ нихъ въ значительной степени переполаризацію, съ другой стороны, отъ того, что при этомъ кристаллъ пронизывается лучами самыхъ различныхъ направленій, которые испытываютъ различное запаздываніе. При этомъ поляризаціонные лучи скрещиваются, что, конечно, затрудняетъ точное опредѣленіе. Поэтому при пользованіи широкоугольными объективами, слѣдуетъ, для



изслѣдованія въ параллельномъ поляризованномъ свѣтѣ, настолько суживать освѣтительный конусъ, насколько это позволяетъ данный источникъ свѣта.

Для наблюденія интерференціонныхъ цвѣтовъ обыкновенно пользуются обоими николями въ скрещенномъ положеніи и только въ сравнительно рѣдкихъ случаяхъ примѣняется наблюденіе между параллельными николями, именно тогда, когда дѣло идетъ о кристаллахъ съ очень слабымъ двойнымъ преломленіемъ; эти послѣдніе просвѣтляются между перекрещенными николями очень незначительно, такъ что наблюденіе имѣющагося двойного преломленія не является особенно точнымъ; между параллельными же николями часто бываютъ видны еще довольно явные цвѣтные тона (см. рис. 58).

При выводѣ интерференціонныхъ цвѣтовъ было допущено, что запаздываніе одного луча по отношенію къ другому одинаково для всѣхъ цвѣтовъ, что, однако, въ дѣйствительности далеко не такъ. Подобно тому, какъ само свѣтопреломленіе различно для различныхъ цвѣтовъ, такъ точно различно свѣтопреломленіе для разныхъ интерференціонныхъ цвѣтовъ въ поляризованномъ свѣтѣ, какъ это, напр., видно изъ приложенной таблички коэффициентовъ преломленія известковаго шпата для различныхъ линий спектра.

Вслѣдствіе этихъ различій въ показателяхъ преломленія для различныхъ цвѣтовъ, интерференціонные

	$\omega$	$\varepsilon$	$\omega - \varepsilon$
A	1,650	1,483	0,167
B	1,653	1,484	0,169
D	1,658	1,486	0,172
F	1,668	1,491	0,177
H	1,683	1,498	0,185

цвѣта, встрѣчающіеся у различныхъ веществъ, при одинаковомъ среднемъ запаздываніи, будутъ также не вполне идентичны. Но эти различія бываютъ, во всякомъ случаѣ, не особенно велики, такъ что прямое сравненіе интерференціонныхъ цвѣтовъ различныхъ кристалловъ почти всегда возможно, въ особенности для опытнаго наблюдателя. Эти различія особенно чувствительны въ двухъ случаяхъ:

Во-первыхъ, у веществъ съ очень слабымъ двойнымъ преломленіемъ, у которыхъ иногда можно наблюдать, что для одного конца спектра они обнаруживаютъ отрицательное, для другого положительное двойное преломленіе, тогда какъ для промежуточнаго цвѣта не наблюдается никакого двойного преломленія. Поэтому, этотъ послѣдній цвѣтъ всегда погасаетъ и вмѣсто сѣрыхъ и бѣлыхъ тоновъ нисшаго порядка выступаетъ дополнительный цвѣтъ того цвѣта, для котораго двойное преломленіе равно нулю и который ясно выступаетъ уже при едва замѣтномъ дѣйстви на поляризованный свѣтъ, а съ утолщеніемъ препарата дѣлается все интенсивнѣе и свѣтлѣе.

Другой случай—слѣдующій: у моноклиническаго или триклиническаго минерала имѣетъ мѣсто сильная дисперсія направленій колебаній для различныхъ цвѣтовъ; различные цвѣта, слѣдовательно, колеблются въ различныхъ плоскостяхъ, и вслѣдствіе этого, при вращеніи такоу кристалла, между перекрещенными николями, не всѣ цвѣта погасаютъ одновременно; вмѣсто полнаго погасанія получается смѣна цвѣтовъ отъ желтоватаго къ фиолетовымъ тонамъ. Эта дисперсія существенно влияетъ и на характеръ интерференціоннаго цвѣта, при положеніи направленія колебаній на 45° къ николямъ. Такіе аномальныя интерференціонныя цвѣта называются дисперсіонными цвѣтами.

Такъ какъ интерференціонные цвѣта зависятъ отъ величины запаздыванія одного луча по отношенію къ другому, слѣдовательно, для одного и того же вещества стоятъ въ прямой зависимости отъ толщины пластинки, то, поэтому, этими цвѣтами можно пользоваться для опредѣленія двойного преломленія или толщины даннаго препарата. Помѣщеніемъ рядомъ табличка указываетъ въ мм. толщину, которую должна имѣть вырѣзанная параллельно оптической оси, т. е. параллельно плоскости



оптических осей, пластинка нѣкоторыхъ кристалловъ, для того, чтобы вызвать яркій красный цвѣтъ перваго порядка (запаздываніе въ 0,000551 мм.).

Для болѣе точнаго установленія интерференціонныхъ цвѣтовъ былъ построенъ компараторъ съ кварцевымъ клиномъ, разрѣзъ котораго представленъ на рис. 59. Аппаратъ приводится сбоку къ окуляру. Свѣтъ получается отъ зеркала *S*, отбрасывается въ сторону призмы съ полнымъ внутреннимъ отраженіемъ *C* и проходитъ черезъ кварцевый клинъ *G*, который можетъ быть съ помощью винта перемѣщаемъ между николями *P* и *A*; далѣе, свѣтъ проходитъ черезъ другую призму съ полнымъ внутреннимъ отраженіемъ *R*, отражающая поверхность которой посеребрена, и попадаетъ, наконецъ, въ поле зрѣнія окуляра. Небольшой круглый, центральный участок отражающей поверхности призмы *R* не посеребренъ и къ нему приклеена маленькая призма *R'*. Черезъ это отверстіе наблюдаютъ интерференціонный цвѣтъ кристалла, находящагося подъ объективомъ, тогда какъ остальная часть поля зрѣнія,

	$\gamma - \alpha$	Толщина въ мм.
Однохлористая ртуть . . . . .	0,64	0,00086
Трифенилбензолъ . . . . .	0,348	0,0016
Рутиль и сѣра . . . . .	0,287	0,0019
Известк. шпаты . . . . .	0,172	0,0032
Оливинъ . . . . .	0,036	0,016
Кварцъ . . . . .	0,009	0,06
Апатитъ . . . . .	0,004	0,125
Апофиллитъ . . . . .	0,001	0,55

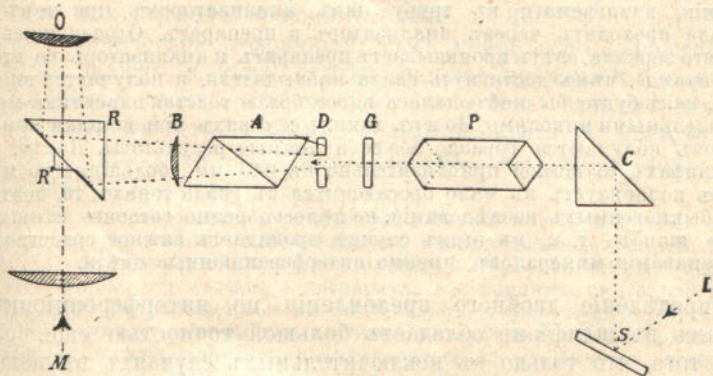


Рис. 59. Компараторъ съ кварцевымъ клиномъ.

получающая свѣтъ изъ бокового аппарата черезъ призму съ полнымъ внутреннимъ отраженіемъ, показываетъ интерференціонный цвѣтъ установленной въ данный моментъ части кварцеваго клина. Такимъ образомъ, въ полѣ зрѣнія окуляра можно видѣть маленькій кружокъ, обнаруживающій интерференціонный цвѣтъ минерала, лежащаго на предметномъ столикѣ, а вокругъ этого кружка расположено кольцо, окрашенное въ интерференціонный цвѣтъ кварцеваго клина, при чемъ цвѣтъ этого кольца, передвиганіемъ клина, можетъ быть совмѣщенъ съ цвѣтомъ внутреннего круга. Тогда, по отмѣткѣ, отсчитываютъ толщину данного куска кварцеваго клина и отсюда непосредственно опредѣляютъ высоту интерференціоннаго цвѣта.

Хотя этотъ аппаратъ и очень интересенъ, однако его можно съ большою примѣнностью только въ исключительныхъ случаяхъ. Видоизмѣненія, испытываемыя интерференціонными цвѣтами, вслѣдствіе различнаго двойного преломленія для различныхъ цвѣтовъ, вслѣдствіе различнаго свѣтопреломленія кристалловъ, вслѣдствіе ихъ прозрачности и т. д. уже



настолько велики, что весьма затрудняютъ абсолютное сравненіе интерференціонныхъ цвѣтовъ. Къ этому присоединяется еще, вслѣдствіе различной интенсивности въ освѣщеніи обоихъ сравниваемыхъ объектовъ, неудобство при опредѣленіи, которое вообще приводитъ къ цѣли только въ случаѣ вполне безцвѣтныхъ минераловъ. Самое же главное это то, что опредѣленіе двойного преломленія при помощи этой методы возможно только тогда, если известна толщина препарата, и имѣетъ смыслъ только въ томъ случаѣ, когда имѣются строго ориентированные разрывы. Измѣреніе толщины препарата можно, для этихъ цѣлей, произвести такимъ образомъ: при приготовленіи шлифа, вмѣстѣ съ кусочкомъ горной породы, пришлифовать параллельно оптической оси маленькія пластинки кварца, расположенныя по угламъ препарата; ихъ интерференціонныя цвѣта даютъ масштабъ для опредѣленія толщины въ готовомъ препаратѣ, предполагая, что плоскость шлифа не выпукла, что обыкновенно имѣетъ мѣсто. При нѣкоторомъ навыкѣ, можно простымъ осмотромъ интерференціонныхъ цвѣтовъ скорѣе и вѣрнѣе опредѣлить ихъ высоту, или, если этого сдѣлать нельзя, то воспользоваться однимъ изъ описанныхъ ниже компенсаторовъ, которые позволяютъ произвести гораздо болѣе точныя опредѣленія.

Измѣренія даютъ особенно мало точные результаты, когда дѣло идетъ о сѣрыхъ и сѣровато-голубыхъ интерференціонныхъ цвѣтахъ низшаго порядка. Было предложено помѣщать въ этихъ случаяхъ непосредственно подъ препаратомъ горизонтальное зеркало. Тогда свѣтъ отбрасывается на это зеркало при помощи особаго зеркальнаго приспособленія, вдвигаемаго въ трубу надъ анализаторомъ, при чемъ онъ сначала проходитъ черезъ анализаторъ и препаратъ. Отразившись отъ нижняго зеркала, свѣтъ пронизываетъ препаратъ и анализаторъ во второй разъ, прежде, чѣмъ достигнуть глаза наблюдателя, и получается впечатлѣніе, какъ будто бы наблюдалась вдвое болѣе толстая пластинка между параллельными николями. Но и въ такихъ случаяхъ при помощи компенсаторовъ получаютъ гораздо болѣе надежные результаты. Далѣе, т. к. въ шлифахъ, толщиной приблизительно въ 0,01 мм., большинство минераловъ поляризуетъ въ мало бросающихся въ глаза тонахъ, то, поэтому, для обыкновенныхъ изслѣдованій, не цѣлесообразно готовить слишкомъ тонкіе шлифы, т. к. въ этомъ случаѣ пропадаетъ важное средство для распознаванія минераловъ, именно интерференціонныя цвѣта.

Опредѣленіе двойного преломленія по интерференціоннымъ цвѣтамъ въ шлифѣ не обладаетъ большою точностью еще вслѣдствіе того, что только въ исключительныхъ случаяхъ въ нашемъ распоряженіи находятся ориентированные разрывы. Чтобы опредѣлить различіе въ скорости обоихъ лучей въ оптически одноосномъ кристаллѣ, необходимо имѣть разрывъ даннаго минерала параллельно оптической оси, потому что только въ такомъ разрывѣ необыкновенный лучъ является въ его опредѣленномъ значеніи.

Изъ всѣхъ разрывовъ оптически однооснаго минерала разрывъ, проведенной параллельно оптической оси, будетъ показывать въ шлифѣ наивысшіе интерференціонныя цвѣта; цвѣта будутъ тѣмъ ниже, чѣмъ болѣе наклонъ разрыва къ оптической оси, пока, наконецъ, при наклонѣ въ  $90^\circ$ , не наблюдается никакого дѣйствія на поляризованный свѣтъ. Разрывы оптически одноосныхъ минераловъ, проведенные перпендикулярно къ оптической оси, относятся къ параллельному поляризованному свѣту такъ же, какъ изотропныя тѣла.



Среди различныхъ разрѣзовъ двуоснаго кристалла разрѣзъ, проведенный параллельно плоскости оптическихъ осей, обнаруживаетъ наивысшіе интерференціонные цвѣта, т. к. здѣсь выступаютъ минимумъ и максимумъ скорости свѣта; въ разрѣзѣ, перпендикулярномъ къ первой биссектрисѣ, будетъ наблюдаться тѣмъ болѣе низкій интерференціонный цвѣтъ, чѣмъ меньше уголъ оптическихъ осей. Во всякомъ случаѣ интерференціонный цвѣтъ въ такомъ разрѣзѣ будетъ ниже, чѣмъ въ разрѣзѣ, перпендикулярномъ ко второй биссектрисѣ, интерференціонный цвѣтъ котораго тѣмъ болѣе приближается къ таковому въ разрѣзѣ, параллельномъ плоскости оптическихъ осей, чѣмъ больше тупой уголъ оптическихъ осей. Наконецъ, въ разрѣзѣ, перпендикулярномъ къ одной изъ оптическихъ осей, оба луча распространяются съ одинаковой скоростью, поэтому они не запаздываютъ одинъ противъ другого и не обнаруживаютъ интерференціонныхъ цвѣтовъ. Однако, вслѣдствіе конической рефракціи, которая наблюдается въ двуосныхъ кристаллахъ по направленію оптической оси, такіе разрѣзы являются между скрещенными николями свѣтлыми и остаются равномерно свѣтлыми, при полномъ вращеніи шлифа на  $360^\circ$ . Это явленіе, вызванное конической рефракціей, тѣмъ менѣе ясно выражено, чѣмъ тоньше шлифъ и чѣмъ слабѣе двойное преломленіе кристалла; въ тонкихъ слояхъ кристалловъ съ очень слабымъ двойнымъ преломленіемъ его совсѣмъ нельзя замѣтить, и, поэтому, такіе разрѣзы являются въ параллельномъ поляризованномъ свѣтѣ равномерно темными.

Если мы вырѣжемъ изъ кристалла тонкій клинъ и будемъ его разсматривать въ бѣломъ параллельномъ поляризованномъ свѣтѣ, то, т. к., при одинаковомъ двойномъ преломленіи, интерференціонные цвѣта зависятъ только отъ толщины препарата, мы увидимъ цвѣта различныхъ порядковъ, расположенные въ видѣ полосъ другъ подлѣ друга. Такіе клинья служатъ отчасти для изученія интерференціонныхъ цвѣтовъ начинающими, желающими напрактиковаться въ различеніи отдѣльныхъ порядковъ, т. к. даже самыя лучшія и, исполненныя при помощи новѣйшихъ способовъ, воспроизведенія интерференціонныхъ цвѣтовъ передаютъ ихъ характеръ въ очень мало совершенномъ видѣ. Для такихъ цѣлей пригодны всегдѣ кварцевые клинья, которые вышлифованы такъ, что, при длинѣ приблизительно въ 8 сант., они даютъ четыре первые порядка цвѣтовъ. Безъ дальнѣйшихъ порядковъ можно съ успѣхомъ обойтись, т. к. цвѣта выше четвертаго порядка уже очень приближаются къ бѣлому цвѣту высшаго порядка. Такіе препараты лучше всего наблюдать между двумя стопочками стекляннхъ пластинокъ, которыя устанавливаются такъ, чтобы одна изъ нихъ была повернута по отношенію къ другой на уголъ поляризаціи. Затѣмъ помѣщаютъ клинъ на одну пластинку, на  $45^\circ$  къ плоскости паденія свѣта, и смотрятъ въ косомъ направленіи черезъ другую. Свѣтъ, поляризованный черезъ отраженіе, исходящій отъ первой стеклянной стопочки, совершаетъ свои колебанія перпендикулярно къ плоскости паденія свѣта (ср. стр. 10), тогда какъ свѣтъ, поляризованный черезъ преломленіе во второй стопочкѣ, колеблется параллельно плоскости паденія; такимъ образомъ, этотъ простой аппаратъ позволяетъ производить наблюденія „между скрещенными николями“ при произвольно большемъ полѣ зрѣнія. Съ другой стороны, кварцевые клинья служатъ для многочисленныхъ микроскопическихъ наблюденій въ качествѣ компенсаторовъ.



Интерференціонныя полосы, встрѣчающіяся въ препаратахъ у клинообразныхъ слоевъ, часто служатъ, при микроскопическомъ изслѣдованіи шлифовъ и изолированныхъ кристалловъ, для болѣе вѣрнаго опредѣленія высоты интерференціонныхъ цвѣтовъ, а также нерѣдко имѣютъ значеніе въ качествѣ вспомогательнаго средства для опредѣленія кристаллическихъ формъ. Клинообразныя участки образуются въ шлифахъ, частью вслѣдствіе ступенчатого отступанія пластинокъ минерала съ хорошей спайностью, частью вслѣдствіе того, что границы к. н. недѣлимаго лежатъ довольно косо къ направленію шлифа, наконецъ, иногда они образуются на краю шлифа, который обыкновенно бываетъ нѣсколько тоньше остальныхъ частей шлифа. Тогда, начиная отъ наиболее тонкаго мѣста въ шлифѣ, на которомъ замѣчаются цвѣта нисшаго порядка, можно просто на просто отсчитать слѣдующія цвѣтныя полосы и, напр., констатировать, какъ часто среди нихъ повторяется красный цвѣтъ, до тѣхъ поръ, пока не

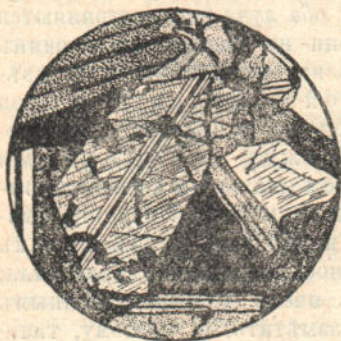


Рис. 60. Простая двойниковая пластинка въ авгитѣ.

средствомъ для распознаванія кристаллической формы; такъ, напр., по интерференціоннымъ полосамъ, наблюдаемымъ на искусственномъ кри-

сталлѣ достигнуть интерференціонный цвѣтъ въ главной части разрыва. Эти цвѣтныя полосы, вызванныя клинообразными разрывами, часто приводятъ къ ошибочнымъ заключеніямъ относительно косо разрыванныхъ двойниковыхъ пластинокъ—у минераловъ съ сильнымъ двойнымъ преломленіемъ, заставляя предполагать здѣсь цѣлый рядъ такихъ пластинокъ, тогда какъ на самомъ дѣлѣ имѣется только одна, но косо разрыванная. Примѣръ такого явленія изображенъ на рис. 60, представляющемъ собой кристаллъ авгита съ одной единственной, косо разрыванной двойниковой пластинкой.

У изолированныхъ кристалловъ интерференціонныя цвѣта, наблюдаемые на клинообразныхъ краяхъ, очень часто служатъ важнымъ вспомогательнымъ средствомъ для распознаванія кристаллической формы; такъ, напр., по рис. 61 (стр. 68) можно довольно легко вывести его форму. Далѣе, эти интерференціонныя полосы служатъ для приблизительнаго опредѣленія двойного преломленія: если на кристаллахъ съ довольно слабо наклоненными одна къ другой краевыми гранями наблюдаются очень узкія полосы, то здѣсь несомнѣнно имѣется вещество съ очень сильнымъ свѣтопреломленіемъ и т. д.

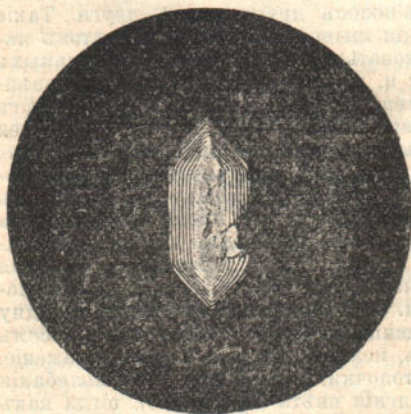


Рис. 61.

Искусственный кристаллъ сѣрноокислаго свинца между скрещенными николями.

Наконецъ, иногда встрѣчаются кристаллы, которые, при вращеніи между скрещенными николями, совсѣмъ не погасаютъ, но обнаруживаютъ смѣну различныхъ цвѣтовъ. Въ отдѣльныхъ, но довольно рѣдкихъ, случаяхъ это можетъ происходить отъ сильной дисперсіи направленій колебаній (ср. стр. 69) или отъ того, что имѣются двойниковые кристаллы, пло-



скость срастанія которыхъ расположена параллельно плоскости столика микроскопа, при чемъ направленія колебаній въ обоихъ недѣлимыхъ расположено косо одно къ другому. Когда направленія колебаній одного недѣлимаго располагаются параллельно къ такому въ обоихъ николяхъ, то наблюдается интерференціонный цвѣтъ другого недѣлимаго и обратно. въ промежуточныхъ же положеніяхъ выступаютъ цвѣта переходные между ними. Различить оба эти случая можно въ монохроматическомъ свѣтѣ, т. к. здѣсь наступаетъ полное затемнѣніе, если причина смѣны цвѣтовъ заключалась въ дисперсіи направленій колебаній, и, съ другой стороны, нельзя найти положенія затемнѣнія, если причиной служили двойники.

#### 4. Опредѣленіе относительной скорости обоихъ лучей. Характеръ двойного преломленія. Компенсаторы.

Высота интерференціонныхъ цвѣтовъ зависитъ отъ запаздыванія, которое испытываетъ одинъ лучъ по отношенію къ другому, при прохожденіи черезъ двупреломляющій кристаллъ. Въ пластинкѣ, вырѣзанной параллельно оптической оси оптически однооснаго, напр. отрицательнаго кристалла, необыкновенный лучъ, колеблющійся параллельно оптической оси, будетъ на извѣстную величину опережать обыкновенный лучъ, совершающій свои колебанія перпендикулярно къ этой оси, слѣдовательно, будетъ меньше сильно отклоняться. Если мы на первую пластинку наложимъ вторую такъ же ориентированнаго кристалла, въ параллельномъ положеніи, то тотъ лучъ, который распространялся въ первой пластинкѣ съ наибольшей скоростью и съ наименьшимъ свѣтопреломленіемъ, будетъ и во второй пластинкѣ меньше сильно преломляемымъ и, слѣдовательно, болѣе скорымъ лучемъ, какъ это представлено на рис. 62, тогда какъ другой лучъ и во второй пластинкѣ распространяется съ меньшей скоростью и съ болѣе большимъ свѣтопреломленіемъ. Поэтому, разница фазъ обоихъ лучей, при выходѣ изъ второго кристалла, будетъ равна суммѣ запаздываній въ каждомъ изъ кристалловъ, иначе говоря: двойное преломленіе двухъ кристалловъ, и, слѣдовательно, интерференціонные цвѣта складываются, если одинаковыя направленія колебаній расположены параллельно. Если мы повернемъ одинъ изъ двухъ кристалловъ на  $90^\circ$  или наизмѣнимъ, какъ это изображено на рис. 63, въ видѣ второго отрицательнаго кристалла, пластинку оптически положительнаго кристалла, то тотъ лучъ, который распространялся въ первой пластинкѣ съ наибольшей скоростью

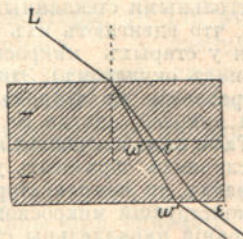


Рис. 62.  
Сложение

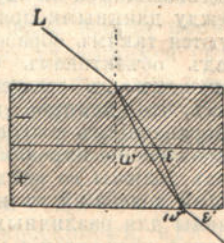


Рис. 63.  
Компенсация

двойного преломленія.



и съ меньшимъ свѣтопреломленіемъ, будетъ распространяться во второй пластинкѣ съ меньшей скоростью и съ большимъ свѣтопреломленіемъ, а для другого луча будетъ наблюдаться обратное явленіе. Такимъ образомъ, разни́ца фазъ, которую испытываютъ два луча при выходѣ изъ этой комбинаціи пластинокъ, будетъ равняться разницѣ въ запаздываніи лучей, иначе говоря: двойное преломленіе и, слѣдовательно, интерференціонныя цвѣта компенсируются, когда одинаковыя направленія колебаній перекрещены. Если запаздываніе въ одной пластинкѣ равно запаздыванію въ другой, то комбинація этихъ пластинокъ въ перекрещенномъ положеніи дѣйствуетъ какъ оптически изотропное тѣло, т. е. двойное преломленіе одной вполне уничтожаетъ двойное преломленіе другой, какъ это и представлено на рис. 63. На этомъ явленіи основывается примѣненіе т. наз. компенсаторовъ, которые отчасти служатъ для того, чтобы черезъ повышеніе или пониженіе интерференціонныхъ цвѣтовъ опредѣлять характеръ двойного преломленія и вмѣстѣ съ тѣмъ приблизительную высоту интерференціонныхъ цвѣтовъ, отчасти же позволяютъ произвести точное измѣреніе интерференціонныхъ цвѣтовъ, при помощи полной ихъ компенсаціи. Наиболѣе важныя изъ компенсаторовъ слѣдующіе:

1. Слюдяная пластинка въ  $\frac{1}{4} \lambda$ ;
2. Пластинки съ фіолетовымъ цвѣтомъ 1-го, 2-го порядка и т. д.;
3. Слюдяной клинъ;
4. Кварцевый клинъ;
5. Бирефрактометръ;
6. Компенсаторъ Бабинэ;
7. Двойниковый компенсаторъ.

Изъ этихъ вспомогательныхъ аппаратовъ отмѣченные подъ 1 и 2 прилагаются къ каждому, даже самому простому, поляризационному микроскопу, тогда какъ остальные примѣняются для болѣе специальныхъ изслѣдованій. Три послѣдніе компенсатора вдѣлываются обыкновенно въ особые окуляры, въ которыхъ они могутъ быть перемѣщаемы при помощи особаго винта. Когда пользуются этими компенсаторами, слѣдуетъ выдвинуть внутренней николь и пользоваться анализаторомъ, надѣвающимся на окуляръ. Остальные компенсаторы просто заклеиваются между длинными прямоугольными стеклянными пластинками; ими пользуются такимъ образомъ, что вдвигаютъ ихъ въ отверстіе, находящееся надъ объективомъ (или у старыхъ микроскоповъ съ надѣвающимся николемъ—въ отверстіе надъ окуляромъ). Эти отверстія дѣлаются иногда такъ, что длинное направленіе пластинокъ располагается на  $45^\circ$  къ направленіямъ колебаній николей, иногда же такъ, что края пластинокъ параллельны николямъ. Такъ какъ направленія колебаній въ компенсаторахъ должны во всѣхъ случаяхъ образовывать уголъ въ  $45^\circ$  съ направленіями колебаній въ николяхъ, то компенсаторы должны быть приготовляемы для различныхъ конструкцій микроскоповъ различно. Въ первомъ случаѣ направленія колебаній параллельны сторонамъ прямоугольника, и, при этомъ, параллельно длиннымъ сторонамъ можетъ располагаться направленіе наибольшей или наименьшей скорости колебаній. Слюдяныя пластинки въ  $\frac{1}{4} \lambda$  приготовлялись прежде всегда такъ, что длинной



сторонѣ соответствовала наименьшая скорость, другія же пластинки приготавливали съ противоположной ориентировкой (рис. 64). Чтобы избѣгнуть происходящей отъ этого путаницы, теперь ориентируютъ и слюдяныя

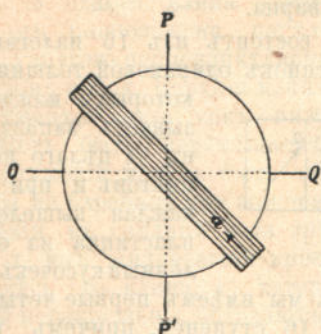


Рис. 64. Компенсаторъ съ параллельнымъ направленіемъ колебаній.

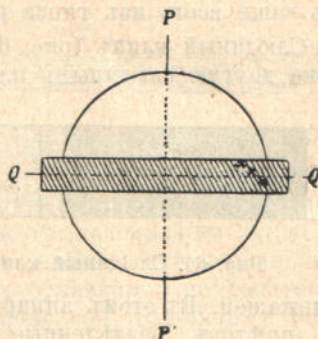


Рис. 65. Компенсаторъ съ діагональнымъ направленіемъ колебаній.

пластинки  $\frac{1}{4} \lambda$  такимъ же образомъ или, еще того лучше, приготавливаютъ всѣ пластинки такъ, какъ это изображено на рис. 65, гдѣ направленія колебаній образуютъ  $45^\circ$  съ ребрами пластинки. На нихъ обозначаютъ алмазомъ направленіе наибольшей скорости  $a$ , и при этомъ имѣется еще то преимущество, что, для того, чтобы одно изъ обоихъ главныхъ направленій колебаній расположить на мѣстѣ другого, требуется только повернуть пластинку на  $180^\circ$ , причемъ наблюдаемый кристаллъ остается неподвижнымъ.

Само собой разумѣется, что компенсаторы можно приготавливать изъ всякаго безцвѣтнаго минерала съ двойнымъ преломленіемъ, обыкновенно же пользуются гипсомъ, слюдой и кварцемъ.

1. Слюдяная пластинка въ  $\frac{1}{4} \lambda$  есть тонкая спайная пластинка безцвѣтной слюды, обладающая запаздываніемъ лучей приблизительно въ  $\frac{1}{4} \lambda$  натріеваго свѣта, т. е. приблизительно на 150  $\mu$ . Разсматриваемая сама по себѣ, она даетъ, между скрещенными николями, голубовато-сѣрый цвѣтъ перваго порядка (ср. рис. 58), а между параллельными — коричневатобѣлый. Во многихъ случаяхъ бываютъ полезны пластинки, дающія запаздываніе только въ  $\frac{1}{8} \lambda$  натріеваго цвѣта. Когда хотятъ ориентировать различные компенсаторы, то для этой цѣли всегда пользуются слюдяной пластинкой  $\frac{1}{4} \lambda$ , дающей въ сходящемся свѣтѣ осевую фигуру оптически двуосной слюды. Такъ какъ слюда всегда отрицательна, то направленіе, въ которомъ расположена плоскость оптическихъ осей соответствуетъ направленію наименьшей скорости колебаній.

2. Компенсаторы съ фіолетовымъ цвѣтомъ I, II и т. д. были уже описаны при описаніи ставроскоповъ; ихъ широкое примѣненіе въ качествѣ компенсаторовъ позволяетъ здѣсь еще разъ упомянуть о нихъ. Фіолетовый цвѣтъ I примѣняется, главнымъ образомъ, для опредѣленія характера двойного прелом-



ленія, фіолетовый цвѣтъ II и пластинки съ еще болѣе высокими интерференціонными цвѣтами—только тогда, когда имѣются вещества съ очень сильнымъ двойнымъ преломленіемъ. Ихъ приготавливаютъ чаще всего изъ гипса и кварца.

3. Слюдяной клинъ (рис. 66) состоитъ изъ 16 налегающихъ одна на другую слюдяныхъ пластинокъ одинаковой толщины, изъ



Рис. 66. Слюдяной клинъ.

которыхъ каждая вызываетъ запаздываніе въ  $\frac{1}{4}$  цѣлаго порядка цвѣтовъ и при этомъ каждая вышележащая пластинка на опредѣленный кусочекъ короче

нижележащей. Въ этомъ аппаратѣ мы имѣемъ первые четыре порядка цвѣтовъ, раздѣленные на 16 ступеней, причемъ каждая изъ этихъ ступеней настолько широка, что все поле зрѣнія микроскопа каждый разъ обнаруживаетъ однородную интерференціонную окраску \*).

4. Кварцевый клинъ представляетъ собой узкую, клинообразно вышлифованную кварцевую пластинку, снабженную дѣленіями, которыя въ каждомъ данномъ мѣстѣ указываютъ соответствующее запаздываніе. Этотъ клинъ вдвигаютъ въ отверстие, находящееся надъ объективомъ до тѣхъ поръ, пока, вслѣдствіе компенсаціи интерференціонныхъ цвѣтовъ, не наступитъ полная темнота или, еще того лучше, пока не появится чувствительный фіолетовый цвѣтъ I; затѣмъ, отсчитываютъ толщину кварца на этомъ мѣстѣ, а отсюда вычисляютъ двойное преломленіе кристалла.

5. Бирефрактометръ состоитъ изъ окуляра, внутри котораго, при помощи винта, можетъ перемѣщаться кварцевый клинъ; на стеклянной полоскѣ, покрывающей клинъ, нанесены микрометрическія дѣленія, позволяющія, въ каждомъ данномъ мѣстѣ, непосредственно отсчитывать толщину той части клина, которой пользуются; такимъ образомъ, одновременно съ установкой, можно измѣрить толщину самого клина. Это еще лучше достигается, если кварцевый клинъ приготовленъ такимъ образомъ, что онъ занимаетъ только половину поля зрѣнія, а дѣленія нанесены на другой сторонѣ; въ такомъ видѣ этотъ аппаратъ можетъ служить не только въ качествѣ компенсатора, но и въ качествѣ компаратора; при этомъ, кристаллъ устанавливаютъ въ свободной половинѣ поля зрѣнія и сравниваютъ его интерференціонный цвѣтъ съ цвѣтами перемѣщаемого кварцеваго клина. Однако, подобныя опредѣленія годятся только для общаго ориентированія.

\*) Способъ пользованія этимъ компенсаторомъ, изобрѣтеннымъ проф. Е. С. Федоровымъ, описанъ въ его „Курсѣ Кристаллографіи“, 3-е изд. 1901. стр. 363—364.

Прим. перев.



6. Компенсаторъ Бабинэ (рис. 67) состоитъ изъ двухъ лежащихъ другъ надъ другомъ плоскихъ, кварцевыхъ клиньевъ съ одинаковымъ преломляющимъ угломъ. У одного клина оптическая ось расположена параллельно, у другого перпендикулярно къ острому ребру. Верхній клинъ неподвиженъ, тогда какъ нижній можетъ быть перемѣщаемъ, и его движенія могутъ быть отсчитаны на барабанѣ при помощи винта съ головкой. При нулевомъ положеніи, въ срединѣ поля зрѣнія, обозначенной нитянымъ крестомъ (т. наз. андреевскій крестъ), наблюдается черная полоса, т. к. здѣсь оба клина, въ которыхъ одинаковыя направленія колебаній перекрещены, обладаютъ одинаковой толщиной, и поэтому ихъ двойное преломленіе вполне компенсируется. По обѣ стороны видны симметрично расположенныя въ возрастающемъ порядкѣ полосы съ интерференціонными цвѣтами различныхъ порядковъ. Если теперь ввести въ микроскопъ двупреломляющую пластинку, то черная полоса удаляется изъ средины поля зрѣнія; тогда передвигаютъ, при помощи винта, подвижный клинъ настолько, что черная полоса опять располагается какъ разъ въ срединѣ и отсчитываютъ на барабанѣ величину перемѣщенія. Если, затѣмъ, повернуть кристаллъ на  $90^\circ$ , то черная полоса перемѣщается въ противоположномъ направленіи; ее опять приводятъ къ нитяному кресту, и среднее изъ обоихъ отсчетовъ даетъ мѣру двойного преломленія кристалла. Такъ какъ въ монохроматическомъ свѣтѣ на мѣсто цвѣтныхъ полосъ выступаютъ черныя, то грубую установку центральной полосы слѣдуетъ дѣлать въ бѣломъ свѣтѣ; ее полезно, однако, проверитъ въ натріевомъ свѣтѣ.



Рис. 67. Компенсаторъ Бабинэ.

7. Двойниковый компенсаторъ состоитъ изъ двухъ компенсаторовъ Бабинэ, повернутыхъ одинъ противъ другого на  $180^\circ$ , у которыхъ оба подвижныхъ клина могутъ быть перемѣщаемы одновременно, но въ противоположномъ направленіи. Въ случаѣ двойниковаго компенсатора появляются двѣ черныя полосы, отодвинутыя въ обѣ стороны на одинаковыя разстоянія; при помощи винта онѣ могутъ быть соединены въ срединѣ поля зрѣнія, такъ что такимъ способомъ можно произвести весьма точное опредѣленіе.

Всѣми этими компенсаторами пользуются такимъ образомъ, что исследуемый кристаллъ сначала центрируютъ и устанавливаютъ направленія его колебаній на  $45^\circ$  къ главнымъ сѣченіямъ николей. Кромѣ того, при работахъ съ компенсаторомъ Бабинэ и съ двойниковымъ компенсаторомъ, пользованіе которымъ, въ общихъ чертахъ, указано выше, сначала наблюдаютъ интерференціонный цвѣтъ изслѣдуемаго объекта, затѣмъ вдвигаютъ компенсаторъ и смотрятъ, въ какомъ направленіи произошло измѣненіе интерференціонной окраски, т. е. соответствуетъ ли интерференціонный цвѣтъ суммѣ или разности запаздываній, съ одной стороны, въ компенсаторѣ, съ другой, въ кристаллѣ. Если мы, напримеръ, имѣемъ призматическій, оптически одноосный, отрицатель-



ный кристаллъ и ориентируемъ его на столикъ микроскопа такъ, чтобы его длинный размѣръ совпадалъ съ направлениемъ наибольшей скорости колебаній въ компенсаторѣ, то интерференціонный цвѣтъ повышается; получается впечатлѣніе, какъ будто кристаллъ сдѣлался толще; въ противоположномъ случаѣ наблюдается пониженіе интерференціоннаго цвѣта, какъ будто бы теперь имѣлся болѣе тонкій слой. Кажущееся исключеніе имѣть мѣсто только у такихъ кристалловъ, которые сами по себѣ обнаруживаютъ очень низкіе интерференціонные цвѣта. Напр., кристаллъ, который самъ по себѣ обнаруживаетъ голубовато-сѣрый интерференціонный цвѣтъ перваго порядка и который, при скрещенномъ положеніи, компенсируется фіолетовымъ цвѣтомъ I, показываетъ яркій оранжево-желтый интерференціонный цвѣтъ, который тѣмъ не менѣе означаетъ пониженіе, такъ какъ онъ ниже, чѣмъ фіолетовый цвѣтъ I. Въ этомъ лучше всего убѣдиться, если повернуть кристаллъ на  $90^\circ$ : тогда выступаетъ болѣе высокій голубой цвѣтъ втораго порядка. Но, обыкновенно, изъ простаго осмотра въ параллельномъ поляризованномъ свѣтѣ мы еще не можемъ узнать, что наблюдаемый кристаллъ одноосенъ и вытянутъ по призмѣ; мы можемъ только установить, что параллельно его длинному размѣру, его главной зонѣ, располагается направленіе наибольшей скорости колебаній; поэтому, опредѣленіе относительной скорости обоихъ лучей, колеблющихся въ данномъ разрѣзѣ, называютъ опредѣленіемъ оптическаго характера главной зонѣ, причемъ за главную зону принимаютъ то направленіе, по которому кристаллъ или разрѣзъ кристалла является вытянутымъ. Этотъ характеръ отрицателенъ, когда главной зонѣ параллельно направленіе наибольшей скорости колебаній, положителенъ, когда ей параллельно направленіе наименьшей скорости.

Кромѣ этого, для точнаго количественнаго опредѣленія высоты интерференціонныхъ цвѣтовъ, при помощи компенсаціи, служатъ также слюдяныи клинь Федорова и бирефрактометръ. Для этого одинаковыя направленія въ кристаллъ и въ компенсаторъ должны быть сначала расположены въ перекрещенномъ положеніи. Затѣмъ, вдвигаютъ клинь настолько, пока интерференціальный цвѣтъ кристалла приблизительно не компенсировался; при пользованіи же рефрактометромъ, передвигаютъ очень медленно клинь, пока не наступитъ полная темнота; когда пользуются слюдянымъ клиномъ, то вдвигаютъ, далѣе, слѣдующій, болѣе толстый, участокъ клина и наблюдаютъ, какой изъ двухъ интерференціонныхъ цвѣтовъ болѣе приближается къ положенію темноты. Въ послѣднемъ случаѣ можно еще легко на глазъ отсчитывать четверти ступеней клина. При помощи этихъ двухъ способовъ можно получить довольно точную мѣру высоты интерференціоннаго цвѣта, причемъ такое опредѣленіе гораздо болѣе надежно, чѣмъ опредѣленіе при помощи компаратора.

Опредѣленіе оптическаго характера главной зоны даетъ намъ въ руки важное средство для опредѣленія кристалловъ, которое часто применяется при изслѣдованіи шлифовъ, т. е., сравнивая оптическій характеръ главной зоны съ истиннымъ оптическимъ характеромъ кристалла, мы получаемъ указаніе на его кристаллографическую форму, на положеніе плоскости оптическихъ осей и т. д.

Приведенный выше примѣръ показываетъ, что у оптически однооснаго кристалла, главная ось котораго соотвѣтствуетъ въ то же время главной зонѣ, оптическій характеръ послѣдней одинаковъ съ оптическимъ характеромъ кристалла. Если данный оптически одноосный отрицательный кристаллъ является пластинчатымъ параллельно базису, то въ разрѣзѣ мы также наблюдаемъ характерное удлинненіе кристалла, къ которому, однако, главная ось расположена перпендикулярно, т. е. теперь направленіе наименьшей скорости колебаній расположено параллельно главной зонѣ, характеръ которой теперь, слѣдовательно, положительный. Для различенія разныхъ возможныхъ случаевъ приведена нижеслѣдующая таблица, гдѣ подъ I указанъ истинный оптическій характеръ кристалла, подъ II—характеръ главной зоны:



I. Оптически одноосные		II.
+ соотв. —	призматическій характеръ	+ соотв. —
+ соотв. —	пластинчатый характеръ	— соотв. +
Оптически двуосные.		
+ соотв. —	$\left\{ \begin{array}{l} \text{призматическіе: первая биссектрисса} \parallel \text{ главн. зонѣ} \\ \text{пластинчатые: вторая биссектрисса} \perp \text{ къ пластинчатой грани} \end{array} \right\}$	+ соотв. —
+ соотв. —	$\left\{ \begin{array}{l} \text{призматическіе: вторая биссектрисса} \parallel \text{ главн. зонѣ} \\ \text{пластинчатые: первая биссектрисса} \perp \text{ къ пластинчатой грани} \end{array} \right\}$	— соотв. +
+ соотв. —	$\left\{ \begin{array}{l} \text{призматическіе: плоскость осей} \perp \text{ къ главной зонѣ} \\ \text{пластинчатые: плоскость осей} \parallel \text{ пластинчатой грани} \end{array} \right\}$	+ —

Въ различныхъ разрѣзахъ двупреломляющаго вещества наблюдается различающійся характеръ двойного преломленія въ томъ случаѣ, когда одно изъ направлений колебаній во всѣхъ характерныхъ разрѣзахъ есть оптическая нормаль.

Определе́ніе характера главной зоны часто является неудовлетворительнымъ оттого, что нельзя различить дѣйствительно характеристичной главной зоны, или же оттого, что въ качествѣ интерференціоннаго цвѣта выступаетъ бѣлый высшаго порядка. Въ первомъ случаѣ нельзя совсѣмъ говорить о главной зонѣ, а во второмъ слѣдуетъ искать какого-нибудь выхода. Для этого пользуются клинообразными краями кристалла или шлифа и воспроизводятъ обыкновенные методы компенсаціи на встрѣчающихся здѣсь яркихъ цвѣтныхъ полосахъ, или же пользуются компенсаторами, которые сами соотвѣтствуютъ высшимъ порядкамъ цвѣтовъ и при помощи ихъ удается, понижая цвѣта, вызвать яркіе интерференціонные цвѣта низшихъ порядковъ. Надо замѣтить, что интерференціонный цвѣтъ, лежащій за пятымъ, для особенно же опытнаго наблюдателя, за шестымъ порядкомъ, является въ видѣ бѣлаго цвѣта высшаго порядка.

## Наблюденія въ сходящемся поляризованномъ свѣтѣ.

Во многихъ случаяхъ бываетъ важно изучить оптическія свойства кристалловъ или разрѣзовъ кристалловъ не только по одному, но по возможно различнымъ направленіямъ. Для этого пользуются или сходящимся поляризованнымъ свѣтомъ, при помощи котораго можно одновременно обозрѣть оптическія явленія, имѣющія мѣсто въ кристаллѣ по различнымъ направленіямъ, или вращательными аппаратами, позволяющими изслѣдовать различныя направленія и описанными въ приложеніи.

Ходъ лучей сходящагося свѣта изображенъ на рис. 68 (стр. 76) Линзы  $L$  и  $L'$  устроены такъ, что верхній фокусъ линзы  $L$  совпадаетъ въ  $f$  съ нижнимъ фокусомъ линзы  $L'$ . Каждый изъ световыхъ конусовъ, имѣющихъ вершину въ нижней фокальной плоскости  $F$  линзы  $L$  превращается этой линзой въ пучекъ параллельныхъ лучей, которые выходятъ, обладая различнымъ накло-



номъ къ оси, какой только возможенъ въ предѣлахъ отверстія данной линзы.

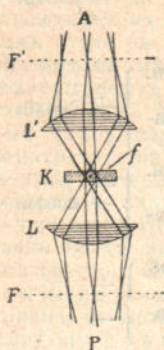


Рис. 68.  
Ходъ лучей въ сходящемся свѣтѣ.

Эти параллельные пучки проходятъ черезъ расположенный между двумя линзами объектъ и соединяются вновь въ верхней фокальной плоскости  $F'$  въ соответственныхъ точкахъ.

Такимъ образомъ, въ получаемомъ изображеніи каждая точка соответствуетъ определенному направленію въ кристаллѣ, и въ сходящемся свѣтѣ мы наблюдаемъ одновременно, одно подлѣ другого, тѣ оптическія явленія, которыя обнаруживаетъ данный объектъ во всѣхъ направленіяхъ, по которымъ его пронизываютъ свѣтовые пучки.

Если мы, вмѣсто обыкновеннаго свѣта, воспользуемся свѣтомъ поляризованнымъ, при помощи поляризатора  $P$  и анализатора  $A$ , то, если передъ нами имѣется двупреломляющій кристаллъ, мы въ каждой точкѣ изображенія будемъ наблюдать интерференціонныя явленія, которыя соответствуютъ запаздыванію одного луча по отношенію къ другому, при прохожденіи черезъ кристаллъ въ данномъ направленіи. Получающіяся такимъ образомъ интерференціонныя или осевыя фигуры являются однимъ изъ важнѣйшихъ средствъ, чтобы распознать оптическую природу кристалла.

Въ настоящее время простыя линзы  $L$  и  $L'$  замѣняютъ обыкновенно комбинаціями плосковыпуклыхъ стеколъ или, въ томъ специальномъ случаѣ, который мы теперь разсматриваемъ—съ одной стороны, освѣтительнымъ аппаратомъ, помѣщаемымъ надъ поляризаторомъ, съ другой—любимъ объективомъ, занимающимъ мѣсто линзы  $L'$ .

Простѣйшій способъ, чтобы отъ наблюденія объекта подъ микроскопомъ перейти къ наблюденію интерференціонной фигуры состоитъ въ томъ, что просто на-просто удаляютъ окуляръ и разсматриваютъ въ поляризованномъ свѣтѣ интерференціонныя явленія, производимыя однимъ только объективомъ, которыя и обнаруживаются въ видѣ маленькой фигуры въ верхней фокальной плоскости объектива (способъ Лазо). Изображеніе при такомъ способѣ наблюденія не является обратнымъ: наблюдаемая интерференціонная фигура имѣетъ такое же положеніе, какъ и объектъ, но, по отношенію къ микроскопическому изображенію объекта, ея положеніе обратно. Получаемыя при этой методѣ фигуры бываютъ обыкновенно очень малы, но выступаютъ весьма рѣзко. Само собой разумѣется, что ихъ можно снова увеличить, но при этомъ онѣ теряютъ часть своей рѣзкости. Для этого изъ окуляра и вставляемой въ тубусъ микроскопа вспомогательной линзы (линзы Бертрана) составляютъ вспомогательный микроскопъ, который можетъ быть установленъ, при помощи вставленной въ



тубусъ микроскопа трубки, на маленькую интерференціонную фигуру и даетъ ея мнимое изображеніе, которое и наблюдаютъ черезъ окуляръ. Наблюдаемое изображеніе является обратнымъ какъ по отношенію къ первому, такъ и по отношенію къ объекту и имѣетъ такое же положеніе, какъ микроскопическое изображеніе объекта. Центрировку Бертрановской линзы нужно всегда въ началѣ провѣрять; провѣрку можно произвести, помѣщая въ микроскопъ одноосный кристаллъ, таблитчатый по базису. Если линза установлена правильно, то описанный ниже черный крестъ долженъ совпадать съ нитянымъ крестомъ окуляра. Осевую фигуру можно еще увеличить, помѣщая надъ окуляромъ лупу, способную передвигаться въ оправѣ (лупа Клейна); такимъ способомъ получается также мнимое изображеніе въ положеніи, обратномъ по отношенію къ объекту. Наконецъ, пригодное для проэкціи и для фотографирования истинное изображеніе получаютъ, если воспользоваться Бертрановской линзой безъ окуляра или проэкціоннымъ окуляромъ; это изображеніе является по отношенію къ объекту также обратнымъ.

Наблюдаемое изображеніе тѣмъ меньше, чѣмъ сильнѣе объективъ, которымъ пользовались; но такъ какъ съ увеличеніемъ обыкновенно возрастаетъ апертура системы, то, при пользованіи болѣе сильными объективами, получаютъ сильнѣе сходящиеся пучки лучей. Такимъ образомъ, получаемая осевая фигура позволяетъ, при пользованіи сильными объективами, изучить гораздо болѣе сильно наклоненныя одно къ другому направленія, предполагая, что апертуры освѣтительнаго аппарата хватаетъ для апертуры объектива. Изъ этого слѣдуетъ, что при микроскопическихъ наблюденіяхъ въ сходящемся свѣтѣ слѣдуетъ всегда вкладывать конденсоръ и пользоваться возможно сильнымъ объективомъ.<sup>1)</sup>

На рис. 69 изображены въ разрѣзѣ нѣкоторые изъ наиболѣе употребительныхъ объективовъ, по моделямъ В. и Х.



Рис. 69.

Здѣсь слѣдуетъ замѣтить, что, за неимѣніемъ сильнаго объектива получить сходящийся свѣтъ при помощи маленькаго пузырька воздуха въ канадскомъ балзамѣ, мыльной цѣны и т. д., при чемъ микроскопъ наблюдаютъ тогда въ увеличенномъ видѣ интерференціонное изображеніе, вызванное воздушнымъ пузырькомъ, въ качествѣ



Зейбертъ, причемъ,  $2\alpha$  означаетъ угловую величину отверстій этихъ объективовъ. На рис. 70 показаны осевыя фигуры оптически двуоснаго кристалла съ угломъ осей приблизительно въ  $80^\circ$ , соответствующія каждому изъ этихъ объективовъ.

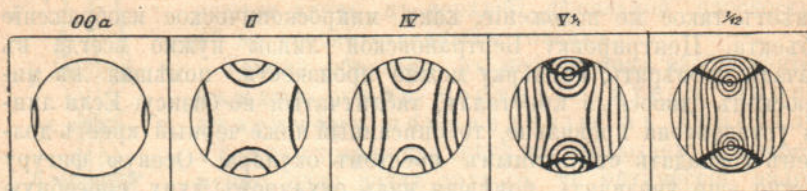


Рис. 70. Осевыя фигуры, соответствующія объективамъ на рис. 69.

Такъ какъ каждая точка интерференціонной осевой фигуры соответствуетъ опредѣленному направленію въ кристаллѣ, а не какому-нибудь опредѣленному мѣсту на его поверхности, то осевая фигура остается неизмѣнной, если мы однородный кристаллъ будемъ передвигать между обѣими системами линзъ.

Если, наконецъ, апертура освѣтительнаго аппарата не достаточна для объектива, то освѣщенной является только средняя часть изображенія, тогда какъ край его представляется темнымъ. Если требуется изслѣдовать въ сходящемся поляризованномъ свѣтѣ отдѣльные зерна агрегата многочисленныхъ мелкихъ недѣлимыхъ или если кристаллъ состоитъ изъ многихъ узкихъ двойниковыхъ недѣлимыхъ, оптическую природу которыхъ требуется распознать, то пользуются диафрагмой, для того, чтобы въ глазъ попадалъ только свѣтъ, проходящій черезъ ту часть объекта, которая находится въ срединѣ поля зрѣнія. Если наблюденія производятся безъ окуляра, то простѣйшая метода заключается въ томъ, что, центрировавъ точно данную часть препарата, удаляютъ окуляръ и насаживаютъ на трубку тубуса диафрагму, снабженную маленькимъ отверстиемъ. Установку объекта можно также производить при помощи рамсеновскаго окуляра, въ нижней фокальной плоскости котораго находится диафрагма „ирисъ“; тогда, въ параллельномъ свѣтѣ, настолько суживаютъ диафрагму, чтобы была видна только часть препарата, подлежащая изслѣдованію, и затѣмъ удаляютъ окуляръ, а диафрагма остается въ тубусѣ микроскопа. При наблюденіяхъ по способу Бертрана, диафрагму ирисъ лучше всего помѣщать въ задней фокальной плоскости вспомогательной линзы, которая вставляется въ тубусъ.

## 1. Отношеніе оптически одноосныхъ кристалловъ къ сходящемуся поляризованному свѣту.

Разсмотримъ сперва явленія, обнаруживаемыя въ сходящемся поляризованномъ свѣтѣ пластинкой, вырѣзанной изъ оптически однооснаго кристалла перпендикулярно къ оптической оси. Среди многочисленныхъ пучковъ параллельныхъ лучей одинъ лучъ  $AA'$  на рис. 71, проходящій черезъ пластинку въ перпендикулярномъ направленіи, т. е. параллельно оптической оси, представляетъ собой въ то же время центръ всего свѣтового конуса. Такъ какъ въ направленіи оптической оси двойного преломленія не происходитъ, то середина интерференціонной фигуры кажется темной. Изслѣдуемъ другой пучекъ лучей  $A'm$ , проходящій черезъ кристаллъ нѣсколько наклонно къ оптической оси; свѣтъ,



проходящій въ этомъ направленіи, разлагается на два колебанія, изъ которыхъ одно совершается въ главномъ сѣченіи, а другое въ направленіи къ нему перпендикулярномъ. Соотвѣтственно незначительному наклону къ оси, колебанія эти выходятъ изъ кристалла съ небольшою разницей фазъ, и поэтому наблюдается слабое просвѣтленіе. Для дальнѣйшихъ пучковъ  $A'$ , которые проходятъ черезъ кристаллъ подъ большимъ наклономъ къ оптической оси, запаздываніе будетъ, соотвѣтственно этому большому наклону, также значительнѣе; такимъ образомъ, отъ середины къ краю фигуры будетъ наблюдаться постепенное

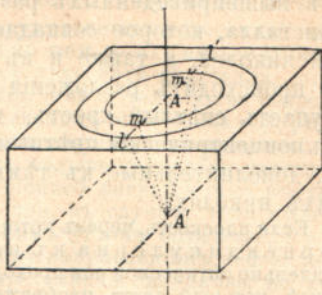


Рис. 71.

Построеніе осевой фигуры оптически однооснаго кристалла.

повышеніе интерференціонныхъ цвѣтовъ. Но т. к. всѣ лучи, одинаково наклоненные къ оптической оси, обнаруживаютъ одинаковое запаздываніе, то различные интерференціонные цвѣта располагаются въ видѣ концентрическихъ круговъ вокругъ темной точки; они обнаруживаютъ наибольшую яркость въ тѣхъ главныхъ сѣченіяхъ, которые образуютъ  $45^\circ$  съ направленіями колебаній въ николяхъ. Въ тѣхъ главныхъ сѣченіяхъ, которые совпадаютъ съ направленіями колебаній обоихъ николей, разложенія свѣта не происходитъ; поэтому, они при всѣхъ условіяхъ остаются темными. Такимъ образомъ, наблюдается темный крестъ, ветви котораго всегда параллельны направленіямъ колебаній обоихъ николей и который представляетъ концентрическія кольца образуемая интерференціонными цвѣтами вокругъ центра зрѣнія (рис. 72).

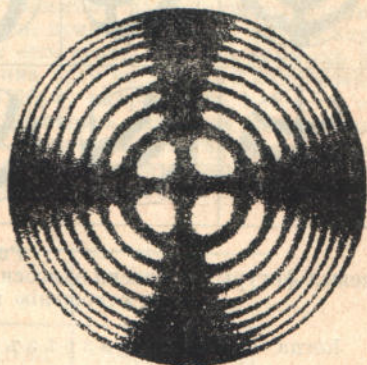


Рис. 72.

Осевая фигура оптически однооснаго кристалла съ сильнымъ двойнымъ преломленіемъ.

Такъ какъ у оптически однооснаго кристалла всѣ направленія, перпендикулярныя къ оптической оси, имѣютъ одинаковое значеніе, то, при вращеніи предметнаго столика на  $360^\circ$  (причемъ всѣ направленія послѣдовательно совпадаютъ съ направленіями колебаній въ николяхъ), фигура не измѣняется. Интерференціонная фигура оптически однооснаго кристалла, въ разрѣзахъ, перпендикулярныхъ къ оптической оси, испытываетъ, при полномъ оборотѣ въ горизонтальномъ направленіи, никакого измѣненія.

Изменія, наблюдаемыя въ сходящемся свѣтѣ, при параллель-



ныхъ николяхъ, у оптически одноосныхъ кристалловъ, разрѣзанныхъ перпендикулярно къ оптической оси, ясны сами собой изъ вышеприведенныхъ разсужденій. Въ томъ главномъ сѣченіи кристалла, которое совпадаетъ съ обоими направленьями колебаній николей, а также и въ сѣченіи, къ нему перпендикулярномъ, не происходитъ разложенія свѣта. Поэтому, на мѣстѣ черного выступаетъ свѣтлый крестъ, который, подобно черному, пересѣкаетъ концентрическія цвѣтныя кольца, обнаруживающія, однако, цвѣта, дополнительные къ тѣмъ, которые наблюдаются при скрещенныхъ николяхъ.

Если плоскость, черезъ которую наблюдаютъ осевую фигуру не перпендикулярна къ направленью оптической оси, то параллельно оптической оси проходитъ черезъ кристаллъ уже не тотъ пучекъ лучей, который даетъ изображенія въ срединѣ поля зрѣнія, а какой-то другой. Точка пересѣченія темнаго креста перемѣщается изъ средины поля зрѣнія, и цвѣтныя кольца, центръ которыхъ составляетъ эта точка, являются эксцентричными по отношенію къ ограниченіямъ поля зрѣнія. При вращеніи препарата, точка пересѣченія чернаго креста описываетъ кругъ около центра поля зрѣнія (см. верхній рядъ на рис. 73). Въ томъ же креста, направленіе которыхъ зависитъ только отъ направленій колебаній обоихъ николей, положеніе которыхъ при этомъ не мѣняется, сохраняютъ свое положеніе.

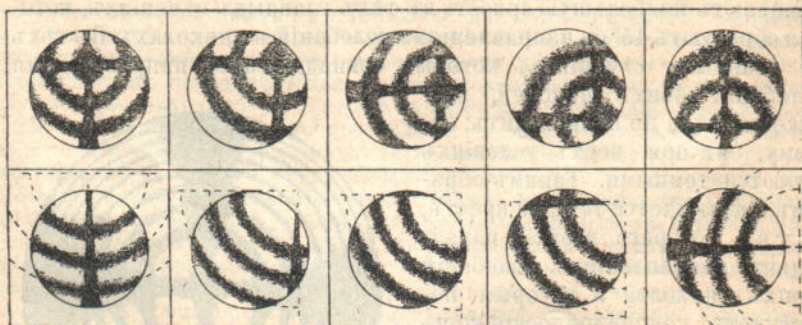


Рис. 73.

Осевыя фигуры оптически одноосныхъ кристалловъ, разрѣзанныхъ косо по отношенію къ оптической оси.

Когда, наконецъ, разрѣзъ проведенъ настолько косо, что  $w \sin \varphi > u$  (гдѣ  $w$  — показатель преломленія обыкновеннаго луча въ данномъ кристаллѣ,  $\varphi$  — уголъ, подъ которымъ наклоненъ разрѣзъ къ оптической оси и  $u$  — апертура системы), такъ что кажущееся направленіе оптической оси находится за предѣлами отверстія аппарата, которымъ производятъ наблюденія, то, несмотря на это, можно все-таки получить съ ѣвкоторой достовѣрностью указаніе на то, что мы имѣемъ дѣло съ однооснымъ кристалломъ. Какъ показываетъ нижній рядъ на рис. 73, при вращеніи пластинки, концы вѣтвей чернаго креста проходятъ одинъ за другимъ черезъ поле зрѣнія. Такъ какъ ихъ направленіе соответствуетъ всегда направленіямъ колебаній николей, то они располагаются въ полѣ зрѣнія всегда параллельно имъ, перемѣщаются параллельно самимъ себѣ и возвращаются опять въ прежнее положеніе. Въ этомъ, какъ будетъ показано ниже, заключается характерное отличіе отъ двуоснаго кристалла, вырѣзаннаго косо по отношенію къ оси, у котораго,



какъ это видно изъ рис. 89 (стр. 94), съ перемѣщеніемъ балки всегда сопряжено и ея вращеніе. Слѣдуетъ еще замѣтить, что, напр., для спайныхъ кусочковъ известковаго шпата  $w \sin \mu = 1,165$ , такъ что выходъ осей здѣсь можно наблюдать только при помощи иммерсійной системы.

Наконецъ, что касается явленій, обнаруживаемыхъ пластинкой однооснаго кристалла, вырѣзанной параллельно оси, то ихъ нельзя отличить отъ явленій, обнаруживаемыхъ пластинкой двуоснаго кристалла, вырѣзанной параллельно плоскости оптическихъ осей, о чемъ болѣе подробно рѣчь будетъ впереди. Въ разрѣзѣ, параллельномъ оптической оси, рѣшеніе вопроса, одноосный ли кристаллъ, или двуосный, невозможно; оно является тѣмъ болѣе достовѣрнымъ, чѣмъ болѣе наклонена пластинка къ оптической оси. Однако, въ интерференціонной фигурѣ можно все-таки опредѣлить направленіе оптической оси или, въ случаѣ, если имѣется двуосный кристаллъ съ не особенно большимъ угломъ оптическихъ осей, направленіе острой биссектриссы. По всѣмъ направленіямъ, перпендикулярнымъ къ оптической оси, двойное преломленіе одинаково; но, такъ какъ лучи, выходящіе на краю, вслѣдствіе ихъ болѣе косою пути, должны пройти черезъ болѣе толстый слой кристалла, чѣмъ лучи срединные, то, при углѣ въ  $45^\circ$  между направленіями колебаній въ кристаллѣ и въ николяхъ, въ тѣхъ двухъ секторахъ, черезъ которые оптическая ось (или соответственно острая биссектрисса) не проходитъ, будетъ наблюдаться повышеніе интерференціонныхъ цвѣтовъ. Тѣ же лучи, которые проходятъ черезъ кристаллъ, находясь въ плоскости, проходящей черезъ нормаль къ пластинкѣ и черезъ оптическую ось, будутъ, въ мѣрѣ наклона къ нормали, испытывать пониженіе двойного преломленія, такъ что запаздываніе обоихъ лучей будетъ все меньше и меньше, несмотря на сравнительно толстый (благодаря ихъ наклонному положенію къ нормали) слой пластинки, черезъ который они должны пройти; такъ что, оба сектора, черезъ которые проходитъ оптическая ось, обнаруживаютъ, начиная отъ центра поля зрѣнія къ краю—постепенно понижающіеся интерференціонные цвѣта. Примѣръ пластинки, вырѣзанной изъ кварца параллельно оптической оси, приведенный на нижеслѣдующей таблицѣ, долженъ пояснить это:  $u$  есть уголъ наклона данныхъ лучей къ нормали къ пластинкѣ,  $p$ —длина пути въ данномъ направленіи,  $d$ —величина двойного преломленія по этому направленію, наконецъ  $w$ —запаздываемая изъ двухъ послѣднихъ факторовъ величина запаздыванія проходящихъ лучей. I—даетъ величины для тѣхъ направленій, которыя лежатъ въ плоскости, проходящей черезъ нормаль и черезъ оптическую ось, а II—для тѣхъ направленій, которыя лежатъ въ плоскости, къ ней перпендикулярной.

$u$	$p$	I		II	
		$d$	$w$	$d$	$w$
$0^\circ$	1,0000	0,0091	0,0091	0,0091	0,0091
$20^\circ$	1,0652	0,0069	0,0073	0,0091	0,0095
$40^\circ$	1,3054	0,0038	0,0050	0,0091	0,0119
$60^\circ$	2,0000	0,0010	0,0020	0,0091	0,0182

Такимъ образомъ, въ первой плоскости лучи, проходящіе подъ угломъ въ  $60^\circ$  къ нормали къ пластинкѣ, достигаютъ только 4,5-ой части запаздыванія лучей, распространяющихся параллельно нормали, а во второй плоскости достигаютъ только 1,82-ой величины сравнительно съ запаздываніемъ лучей, идущихъ параллельно нормали къ пластинкѣ.

Фигура оптическихъ одноосныхъ кристалловъ бываетъ часто самымъ различнымъ образомъ, что отчасти зависитъ отъ



различимыхъ включеній, двойниковыхъ пластинокъ и т. д. Осевая фигура является только тогда не нарушенной, если направленія колебаній во включеніяхъ, производящихъ нарушение, совпадаютъ съ направленіями колебаній въ николяхъ. Въ другихъ случаяхъ наблюдается, что черный крестъ интерференціонной фигуры, при вращеніи препарата, измѣняется въ томъ смыслѣ, что онъ какъ бы раскрывается и образуетъ двѣ гиперболы, которыя, при дальнѣйшемъ вращеніи, опять соединяются. Такимъ образомъ, подобные кристаллы обнаруживаютъ свойства оптически двуосныхъ кристалловъ съ очень небольшимъ угломъ оптическихъ осей; т. е. это послѣднее явленіе весьма распространено, то часто нельзя сдѣлать точнаго опредѣленія. Наконецъ, бываетъ случай, когда черный крестъ самъ по себѣ кажется раскрытымъ и не замыкается, при вращеніи препарата. Это зависитъ отъ двойного преломленія въ линзахъ, и вращеніемъ объектива можно возстановить нормальное положеніе.

Если имѣются очень тонкія пластинки веществъ съ весьма слабымъ двойнымъ преломленіемъ, то пучки лучей, даже наиболѣе наклоненные къ оси, не будутъ испытывать достаточнаго двойного преломленія, чтобы вызвать болѣе высокіе яркіе интерференціонные цвѣта. Въ этомъ случаѣ, только по самому краю поля зрѣнія, въ четырехъ секторахъ, заключенныхъ между главными сѣченіями николей, будетъ наблюдаться просвѣтленіе, тогда какъ большую часть изображенія занимаетъ широкій, неясный крестъ (рис. 74). Для распознаванія весьма слабого двойного преломленія и въ сходящемся свѣтѣ пользуются пластинкой, которая сама по себѣ даетъ чувствительный фіолетовый цвѣтъ I;

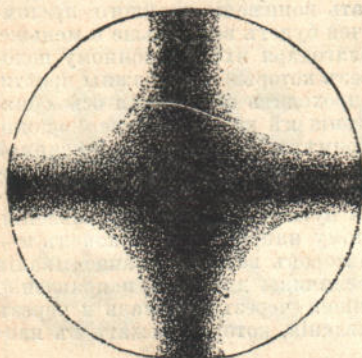


Рис. 74. Осевая фигура однооснаго кристалла со слабымъ двойнымъ преломленіемъ.

при пользованіи этой пластинкой даже едва замѣтная интерференціонная фигура выступаетъ болѣе рельефно, вслѣдствіе того, что два противолежащіе квадранта дѣлаются голубыми, а два другіе—оранжевыми. Если, наоборотъ, мы имѣемъ болѣе толстыя пластинки или вещества съ очень сильнымъ двойнымъ преломленіемъ, то тѣсно сгруппированныя, ярко окрашенные низкими цвѣтами кольца уступаютъ мѣсто блѣдному цвѣту вышешаго порядка, къ краямъ поля зрѣнія.

Объ явленіяхъ, которые обнаруживаютъ въ сходящемся поляризованномъ свѣтѣ оптически одноосные кристаллы съ круговой поляризацией здѣсь слѣдуетъ сказать всего нѣсколько словъ, такъ какъ явленія круговой поляризации обыкновенно наблюдаются въ препаратахъ

гораздо болѣе толстыхъ, чѣмъ тѣ, которые подвергаются микроскопическимъ изслѣдованіямъ. Подъ именемъ круговой поляризации понимаютъ свойство извѣстныхъ тѣлъ разлагать свѣтъ и по тѣмъ направленіямъ, по которымъ обыкновеннаго рода двойное преломленіе не имѣетъ мѣста. Такъ какъ всѣ направленія, перпендикулярныя къ подобному направленію, являются равнозначущими, то разложеніе свѣта можетъ привести только къ круговымъ колебаніямъ, которые совершаются въ кристаллѣ въ обратныхъ одно къ другому направленіяхъ и обладаютъ различной (большей частью весьма мало одна отъ другой отличающейся) скоростью распространенія. Поэтому, круговая поляризация можетъ имѣть мѣсто у кристалловъ правильной системы по всѣмъ направленіямъ, а у двупреломляющихъ только по направленію оптической оси. При выходѣ изъ кристалла оба круговыхъ колебанія слагаются въ одно прямолинейно поляризованное колебаніе, плоскость поляризации котораго повернута,



нако, на нѣкоторую величину, соответственно запаздыванію одного луча по отношенію къ другому: кристаллы съ круговой поляризацией вращаютъ плоскость поляризации свѣта.

Если мы будемъ разсматривать пластинку кристалла, вращающаго плоскость поляризации, при монохроматическомъ освѣщеніи, въ параллельномъ свѣтѣ, то, при достаточной толщинѣ, пластинка эта, при скрещенныхъ николяхъ, будетъ казаться свѣтлой и, при полномъ оборотѣ въ горизонтальномъ направленіи, остается одинаково свѣтлой. Если же повернуть одинъ изъ николей на нѣкоторый уголъ, то пластинка дѣлается темной и, смотря по тому, должно ли быть произведено вращеніе вправо или лѣво, отличаются правовращающіе и лѣвовращающіе кристаллы, причемъ уголъ, на который надо повернуть николь, чтобы достигнуть полной темноты, служить, при извѣстной толщинѣ пластинки, мѣромъ силы круговой поляризации. Вращеніе плоскости поляризации бываетъ обыкновенно для различныхъ цвѣтовъ весьма различно (кварца, напр., вращеніе для крайняго фіолетоваго цвѣта приблизительно въ  $2\frac{1}{2}$  раза сильнѣе, чѣмъ для крайняго краснаго); вслѣдствіе этого пластинки съ круговой поляризацией обнаруживаютъ, въ параллельномъ поляризованномъ свѣтѣ, при достаточной толщинѣ, интерференционные цвѣта, которые, при полномъ оборотѣ пластинки въ горизонтальномъ направленіи, остаются неизмѣненными. Если же вращать одинъ изъ николей, то цвѣтъ измѣняется такимъ образомъ, что различные цвѣта спектра слѣдуютъ одинъ за другимъ,—именно у правовращающихъ кристалловъ въ порядкѣ цвѣтовъ спектра (если вращать николь вправо), у лѣвовращающихъ въ обратномъ порядкѣ.

Явленія, обнаруживаемыя въ сходящемся свѣтѣ оптически одноосн. кристалломъ, вращающимъ плоскость поляризации, легко вывести изъ вышеказаннаго: въ центрѣ фигуры выступаютъ интерференционные цвѣта, вызванные круговой поляризацией, темный крестъ является въ центрѣ прерваннымъ, и центральная часть изображенія обнаруживаетъ на всемъ своемъ протяженіи опредѣленный интерференціонный цвѣтъ, который обладаетъ такими же свойствами, какъ интерференціонный цвѣтъ пластины въ параллельномъ поляризованномъ свѣтѣ (рис. 75).

Обыкновенно это явленіе выступаетъ въ микроскопическомъ препаратѣ не особенно ясно, такъ какъ круговая поляризация почти всегда слишкомъ слаба, чтобы вызвать въ тонкомъ слое замѣтное просвѣтленіе.

Тѣ пучки лучей, которые проходятъ черезъ вырѣзанную перпендикулярно къ оси пластинку однооснаго кристалла, въ какомъ бы то ни было направленіи, подѣляются въ оптической оси кристалла, разлагаются на два колебанія, изъ которыхъ одно совершается въ главномъ сѣченіи, которое въ данномъ случаѣ есть просто радіусъ интерференціонной фигуры, а другое — въ направленіи къ нему перпендикулярномъ. Возьмемъ одинъ изъ описанныхъ ранѣе компенсаторовъ, напр., пластинку съ фіолетовымъ цвѣтомъ I порядка и вложимъ ее въ микроскопъ такъ, чтобы направленія ея колебаній образовали  $45^\circ$  съ таковыми въ нико-

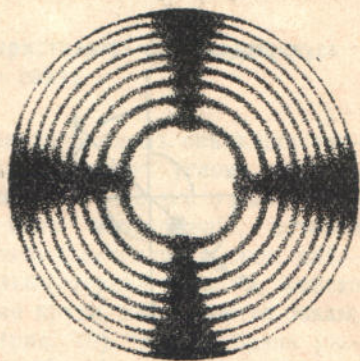


Рис. 75. Осеваѣ фигура однооснаго кристалла, вращающаго плоскость поляризации.



ляхъ; тогда направленія наибольшей и наименьшей скорости свѣта въ пластинкѣ лежатъ каждое параллельно главному сѣченію кристалла. Черный крестъ освѣщается фіолетовымъ цвѣтомъ I, а вершины четырехъ секторовъ окрашены попеременно въ голубой и оранжевый цвѣтъ, т. к. черезъ два противоположащихъ сектора проходитъ направленіе наибольшей, черезъ два другихъ—направленіе наименьшей скорости свѣта въ гипсовой пластинкѣ, каждое параллельно одному изъ главныхъ сѣченій пластинки кристалла. У оптически отрицательнаго кристалла необыкновенный лучъ, колеблющійся въ главномъ сѣченіи, обладаетъ наибольшей скоростью. Поэтому, въ тѣхъ квадрантахъ, черезъ которые проходитъ направленіе колебаній съ наибольшей скоростью свѣта во вспомогательной пластинкѣ, произойдетъ сложение цвѣтовъ, и оба эти сектора являются окрашенными въ голубой цвѣтъ. (Линія, соединяющая голубые сектора и направленіе наибольшей скорости во вспомогательной пластинкѣ дадутъ вмѣстѣ знакъ  $-$ ). У оптически положительныхъ кристалловъ голубой интерференціонный цвѣтъ обнаруживаютъ два другихъ сектора. (Линія, соединяющая голубые сектора и направленіе наибольшей скорости во вспомогательной пластинкѣ образуютъ вмѣстѣ знакъ  $+$ ).

Аналогичнымъ образомъ получаютъ характерныя реакціи, при пользованіи слюдяной пластинкой въ  $\frac{1}{4} \lambda$ : черный крестъ распадается на два черныхъ пятна и линія ихъ соединяющая соответствуетъ одному изъ направленій колебаній во вспомогательной пластинкѣ, причемъ у положительныхъ кристалловъ эта линія лежитъ параллельно направленію большей скорости свѣта

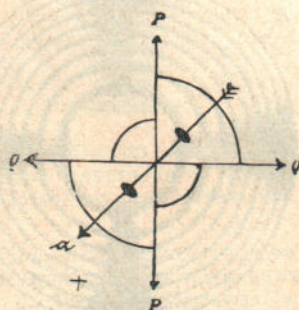


Рис. 76.

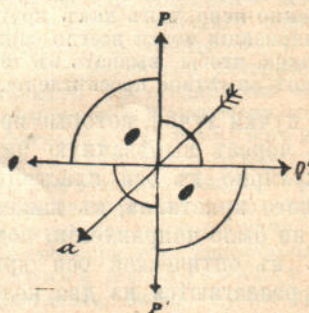


Рис. 77.

Осевая фигура

оптически положительнаго      оптически отрицательнаго  
кристалла со слюдяной пластинкой въ  $\frac{1}{4}$  волны.

во вспомогательной пластинкѣ (рис. 76), а у отрицательныхъ кристалловъ—параллельно меньшей скорости свѣта. Одновременно съ этимъ, въ соответствующихъ двухъ секторахъ наблюдается расширеніе, а въ двухъ другихъ—суженіе цвѣтныхъ колецъ.



Описанныя явленія изображены схематически на рис. 76 и 77, причѣмъ эти явленія приурочены къ направленію наибольшей скорости колебаній въ слюдяной пластинкѣ. Если имѣется пластинка, у которой данный размѣръ соответствуетъ наименьшей скорости, то въ такомъ случаѣ нужно одинъ рисунокъ поставить на мѣсто другого.

Точно также и пластинка въ  $\frac{1}{8} \lambda$  даетъ очень характерное явленіе, выражающееся въ томъ, что черный крестъ распадается на двѣ группы, которыя похожи на среднюю часть цифры 8. Такая „восьмерка“ образуется съ обѣихъ сторонъ сжатыми цвѣтными кольцами и располагается параллельно направленію наибольшей скорости свѣта въ кристаллѣ, если кристаллъ отрицателенъ, параллельно наименьшей — если кристаллъ положительенъ.

Изслѣдованіе характера двойного преломленія на очень тонкихъ пластинкахъ и у веществъ съ очень слабымъ двойнымъ преломленіемъ, при пользованіи слюдяной пластинкой въ  $\frac{1}{4} \lambda$  между скрещенныхъ николями, недостаточно точные результаты, такъ какъ черныя полосы, а также и кольца, выходятъ изъ поля зрѣнія; въ этомъ случаѣ слѣдуетъ предпочесть пластинку съ краснымъ цвѣтомъ I порядка, рѣзкое измѣненіе цвѣта которой ясно замѣтно даже и у веществъ съ весьма слабымъ двойнымъ преломленіемъ. Однако и со слюдяной пластинкой въ  $\frac{1}{4} \lambda$  можно вызвать достаточно отчетливую реакцію, если наблюдение производитъ не при скрещенныхъ, а при параллельныхъ николяхъ. Въ этомъ случаѣ четыре угла креста, кажущагося буроватымъ, окрашены попеременно въ бѣлый и темнобурый цвѣтъ, переходящій въ голубой. Два послѣднихъ квадранта, которые у отрицательныхъ кристалловъ располагаются параллельно, а у положительныхъ — перпендикулярно направленію наибольшей скорости въ слюдяной пластинкѣ, можно отличить по ихъ окраскѣ. Съ другой стороны, хорошихъ результатовъ можно достигнуть со слюдяной пластинкой, если имѣются вещества съ весьма сильнымъ двойнымъ преломленіемъ, у которыхъ внутреннее цвѣтное кольцо весьма узко, а также и въ случаѣ сильной окраски изслѣдуемаго объекта.

## 2. Отношеніе оптически двuosныхъ кристалловъ къ сходящемуся поляризованному свѣту.

Разсматривая въ сходящемся поляризованномъ свѣтѣ пластинку двuosнаго кристалла съ не слишкомъ малымъ угломъ оптическихъ осей, вырѣзанную перпендикулярно къ одной изъ оптическихъ осей \*), мы увидимъ изображеніе, которое похоже на фигуру оптически однооснаго кристалла. Однако, вмѣсто черного креста, здѣсь имѣется только черная балка и, вмѣсто колецъ, представляющихъ собой точные круги, наблюдаются овалы, весьма приближающіеся къ кругамъ (рис. 78). Черная балка располагается параллельно направленію колебаній николевыхъ призмъ, если плоскость оптическихъ осей лежитъ параллельно этому направленію, т. е. если единственное главное сѣченіе, которое можно провести черезъ пластинку, параллельно направленію колебаній въ одномъ изъ николей. Если препаратъ повернуть, то балка

\*) При этомъ мы пока не принимаемъ въ расчетъ дисперсіи осей для различныхъ цвѣтовъ. Строго говоря, такая пластинка перпендикулярна къ оси только для какого-нибудь опредѣленнаго цвѣта.



вмѣстѣ съ кольцами повертывается въ обратномъ направленіи, на такой же уголъ вокругъ этой точки, которая соотвѣтствуетъ выходу оптической оси, до тѣхъ поръ, пока, послѣ вращенія на  $90^\circ$ , эта балка не расположится параллельно направленію колебаній другого николя. Такимъ образомъ, направленія колебаній обоихъ николей всегда представляютъ собой линіи, дѣлящія пополамъ уголъ между темной балкой и направленіемъ плоскости оптическихъ осей. Пучекъ лучей, проходящій черезъ кристаллъ параллельно оси и здѣсь не испытываетъ двойного преломленія; поэтому соотвѣтствующая часть изображенія будетъ всегда темной, т. е. точка, въ которой выходитъ ось, является въ то же



Рис. 78.

Осевая фигура оптически двуоснаго кристалла, вырѣзаннаго перпендикулярно къ оси.

время осью вращенія черной балки—единственной части осевой фигуры, которая остается постоянно темной.

Пластика ромбическаго кристалла, вырѣзанная перпендикулярно къ первой биссектриссѣ, показываетъ фигу-

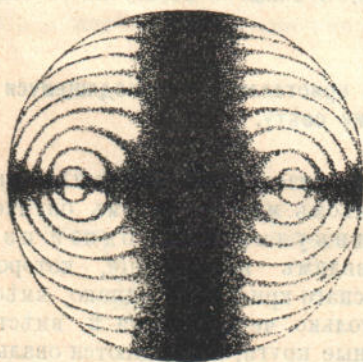


Рис. 79.



Рис. 80.

Осевыя фигуры оптически двуоснаго кристалла, вырѣзаннаго перпендикулярно къ первой биссектриссѣ.

ры, изображенные на рис. 79, если положеніе плоскости оптическихъ осей параллельно главному свѣченію одного изъ николей. Черный крестъ, одна балка котораго, лежащая параллельно плоскости оптическихъ осей, изображена рѣзкой линіей, тогда какъ другая является широкой и лишенной рѣзкихъ контуровъ, соотвѣтствуетъ обоимъ главнымъ свѣченіямъ, которые можно провести черезъ



пластинку. Этотъ крестъ симметрично дѣлитъ систему лемнискато-подобныхъ кривыхъ, изъ которыхъ внутреннія являются замкнутыми овалами, а другія (внѣшнія) соединяются въ видѣ лежащей восьмерки ( $\infty$ ). Сами оси выходятъ въ фокусахъ (Brennpunkten) системы кривыхъ. При вращеніи пластинки, черный крестъ въ срединѣ раскрывается, каждая пара соприкасающихся вѣтвей креста соединяется въ кривую, которая, послѣ вращенія пластинки на  $45^\circ$ , весьма приближается къ гиперболѣ (рис. 80). Цвѣтныя кривыя, хотя и двигаются одновременно съ пластинкой, но не измѣняютъ своей формы. Единственными точками, остающимися при этомъ вращеніи всегда темными, являются опять-таки точки выхода обѣихъ осей, которыя образуютъ вершины (Scheitelpunkte) обѣихъ гиперболъ. Разстояніе вершинъ обѣихъ гиперболъ, при положеніи плоскости оптическихъ осей на  $45^\circ$  къ николямъ, является, такимъ образомъ, мѣрой для величины угла оптическихъ осей.

Уголъ оптическихъ осей для различныхъ цвѣтовъ различенъ; иногда уголъ для краснаго цвѣта больше, чѣмъ для голубого (рис. 81), что обозначаютъ формулой для дисперсіи  $v > \rho$ , или же имѣется обратный случай  $\rho > v$ . Если дисперсія очень незначительна, то ее бываетъ трудно распознать подъ микроскопомъ, въ особенности у веществъ со слабымъ двойнымъ преломленіемъ; если же она болѣе сильно выражена, то полюсы гиперболъ осевой фигуры бывають окаймлены съ обѣихъ сторонъ ярко окрашенными полосками, тѣмъ болѣе широкими и ярче окрашенными, чѣмъ сильнѣе дисперсія. Весьма сильную дисперсію оптическихъ осей можно легко отличать и въ параллельномъ поляризованномъ свѣтѣ, по такъ называемымъ дисперсіоннымъ цвѣтамъ (ср. стр. 64). Если гиперболы на выпуклой сторонѣ имѣютъ желтую, а на вогнутой—голубую кайму, то уголъ оптическихъ осей для голубого цвѣта меньше, т. е.  $\rho > v$ . Это происходитъ оттого, что тѣ пучки лучей, которые, для какого-нибудь опредѣленнаго цвѣта, проходятъ черезъ кристаллъ параллельно оси, для этого цвѣта не испытываютъ двойного преломленія, и, потому, на данномъ мѣстѣ осевой фигуры, т. е. въ вершинѣ гиперболы, выступаетъ дополнительный цвѣтъ.

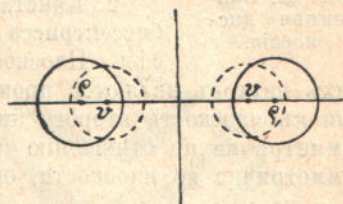


Рис. 81. Ромбическая дисперсія.

Въ ромбическій системѣ обѣ биссектрисы и оптическая нормаль совпадаютъ для всѣхъ цвѣтовъ съ тремя кристаллографическими осями, но для одного цвѣта оптической нормалью можетъ служить одна, для другого—другая кристаллографическая ось, т. е. въ этомъ случаѣ плоскости оптическихъ осей для различныхъ цвѣтовъ являются накрестъ лежащими. Но, во всякомъ случаѣ, осевая фигура симметрична по отношенію къ плоскости



оптическихъ осей и къ плоскости ей перпендикулярной. У моноклиническихъ кристалловъ, у которыхъ только одна кристаллографическая ось  $b$  совпадаетъ съ однимъ изъ главныхъ направлений колебаній, исчезаетъ симметрія по отношенію къ одной или къ обѣимъ плоскостямъ. Различаютъ три различные рода моноклинической дисперсіи:

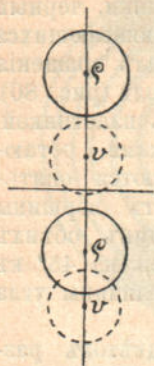


Рис. 82. Наклонная дисперсія.

1. Кристаллографическая ось  $b$  есть оптическая нормаль — наклонная дисперсія. Оптическія оси лежатъ произвольно въ плоскости, параллельной плоскости второго пинакоида (010), обѣ оси диспергированы въ различной степени, осевая фигура симметрична по отношенію къ плоскости оптическихъ осей, но не къ плоскости, къ ней перпендикулярной, что выражается, напр., въ томъ, что на обѣихъ полюсахъ гиперболъ выступаютъ цвѣтныя каемки, неодинаково интенсивно окрашенные.

2. Кристаллографическая ось  $b$  есть вторая биссектриса — горизонтальная дисперсія. Плоскостями оптическихъ осей для различныхъ цвѣтовъ являются произвольныя плоскости, перпендикулярныя къ плоскости второго пинакоида (010); осевая фигура уже не симметрична по отношенію къ плоскости оптическихъ осей, но симметрична по плоскости, ей перпендикулярной. (рис. 83).

3. Кристаллографическая ось  $b$  есть первая биссектриса — прекрещенная дисперсія. Положеніе оптическихъ осей, какъ въ предыдущемъ случаѣ; въ осевой фигурѣ участокъ направо вверху одинаковъ съ участкомъ нѣлѣво внизу (рис. 84).



Рис. 83. Горизонтальная дисперсія. Рис. 84. Прекрещенная дисперсія.

Наконецъ, въ триклинической системѣ не существуетъ никакихъ опредѣленныхъ соотношеній между оптическими свойствами для различныхъ цвѣтовъ и, поэтому, осевая фигура является вполнѣ несимметрической.

Обыкновенно эти отличія въ дисперсіяхъ бываютъ незначительны и только въ благопріятномъ случаѣ могутъ быть отчетливо наблюдаемы подъ микроскопомъ, такъ что, хотя присутствіе характеристичной наклонной или прекрещенной дисперсіи и можетъ служить указаніемъ на моноклиническій кристаллъ, но, по



присутствію явственныхъ явленій дисперсін нельзя заключать о томъ, что мы имѣемъ дѣло съ ромбическимъ кристалломъ.

Наличность сильной дисперсін оптическихъ осей сама по себѣ является хорошимъ признакомъ того или другого вещества; однако присутствіе ясно выраженнаго моноклиническаго характера дисперсін вовсе не связано съ присутствіемъ сильной самой по себѣ дисперсін моноклиническихъ кристалловъ; такъ, напр., титанитъ обладаетъ очень сильной дисперсіей оптическихъ осей, а наклонная дисперсія у него едва заметна. У нѣкоторыхъ пироксеновъ, которые обладаютъ точно такой же наклонной дисперсіей, одна ось диспергирована весьма слабо, другая очень сильно.

Осевая фигура оптически двуосныхъ кристалловъ съ весьма малымъ угломъ оптическихъ осей приближается, по своему виду, къ осевой фигурѣ оптически одноосныхъ кристалловъ; черный крестъ является окруженнымъ одной единственной системой кругоподобныхъ цвѣтныхъ кристалловъ (рис. 85); при вращеніи препарата крестъ открывается только слегка, такъ какъ такія явленія, какъ было уже замѣчено раньше, нѣрѣдко наблюдаются и у одноосныхъ кристалловъ, то окончательно рѣшить вопросъ, имѣемъ ли мы дѣло съ однооснымъ кристалломъ или съ двуоснымъ, бываетъ весьма трудно.

Когда уголъ оптическихъ осей очень великъ (рис. 86), то мы имѣемъ другую картину, когда оси, даже при пользованіи самыми сильными объективами, занимаютъ болѣе въ полѣ зрѣнія. Это бываетъ, когда  $\beta \sin v > a$  (структура даннаго объектива). Если  $\beta \sin v > 1$ , то оптическія оси со-



Рис. 85.

Осевая фигура оптически двуоснаго кристалла

съ весьма малымъ угломъ оптическихъ осей.

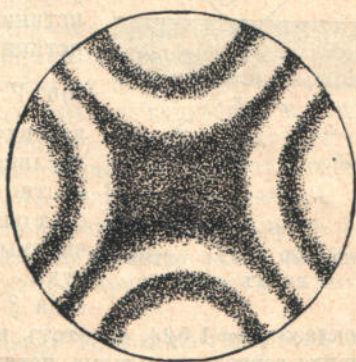


Рис. 86.

съ весьма большимъ угломъ оптическихъ осей.

лучи не выходятъ изъ кристалла въ воздухъ, такъ какъ тогда въ направлении осей происходитъ полное внутреннее отраженіе свѣта. Тогда мы имѣемъ также большіе углы оптическихъ осей, чѣмъ  $180^\circ$ . Если же, при такихъ кристаллахъ, воспользоваться иммерсіонной системой, то тогда, во всѣхъ случаяхъ, въ разрывѣ, перпендикулярномъ къ первой оси, можно будетъ наблюдать выходъ осей, такъ какъ, при уменьшеніи разницы въ свѣтопреломленіи между кристалломъ и окружающей жидкостью, и поэтому уменьшится отклоненіе лучей, переходящихъ изъ кристалла въ иммерсіонную жидкость, а предѣльный уголъ внутреннего отраженія значительно увеличится.

У кристалловъ съ не слишкомъ высокимъ свѣтопреломленіемъ и съ большимъ угломъ оптическихъ осей, можно съ иммерсіонной си-



стемой часто наблюдать обѣ оси въ полѣ зрѣнія и въ разрывѣ, перпендикулярномъ ко второй биссектриссѣ; это бываетъ, когда  $\beta \cos v < \alpha$ . Различіе острого и тупого угла оптическихъ осей бываетъ въ этомъ случаѣ всегда затруднительно, безъ болѣе точныхъ измѣреній (плагіоклазы).

Особенно важно опредѣленіе величины угла оптическихъ осей, которое можетъ быть произведено различными способами. Измѣреніе разстоянія между полюсами обѣихъ гиперболъ даетъ намъ только мѣру для такъ называемаго видимаго угла оптическихъ осей, который тѣмъ болѣе отличается отъ истиннаго угла оптическихъ осей, чѣмъ больше этотъ послѣдній и чѣмъ выше среднее свѣтопреломленіе кристалла. Тѣ пучки лучей, которые проходятъ параллельно оптическимъ осямъ черезъ пластинку, вырѣзанную перпендикулярно къ линіи, дѣлящей пополамъ уголъ между этими осями, выходятъ въ косомъ направленіи на границу между кристалломъ и воздухомъ, и такъ какъ, при этомъ, они изъ среды болѣе сильно преломляющей переходятъ въ среду менѣе сильно преломляющую, то, по синусовой формулѣ, они отклоняются отъ нормали (рис. 87). Видимый уголъ, поэтому, бываетъ всегда больше истиннаго. Если  $2E$  есть видимый, а  $2V$  истинный уголъ оптическихъ осей, то

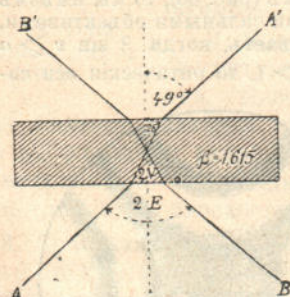


Рис. 87.  
Видимый уголъ оптическихъ осей.

$\sin V = \frac{\sin E}{\beta}$ . Изъ видимаго угла оптическихъ осей кристалла мы можемъ вычислить истинный только тогда, если извѣстно  $\beta$ . Такъ, напр., діопсидъ и ортоклазъ имѣютъ почти одинаковый видимый уголъ оптическихъ осей въ воздухѣ — около  $118^\circ$ , но, такъ какъ у діопсида  $\beta = 1,678$  гораздо выше, чѣмъ у

ортоклаза  $\beta = 1,524$ , то этотъ видимый уголъ соответствуетъ у діопсида гораздо меньшему истинному углу, именно  $61\frac{1}{2}^\circ$ , тогда какъ истинный уголъ для ортоклаза равенъ  $71^\circ$ .

Такимъ образомъ, подъ микроскопомъ прежде всего можно измѣрить видимый уголъ оптическихъ осей: для этого измѣряютъ разстояніе между полюсами обѣихъ гиперболъ, пользуясь, по возможности, монохроматическимъ свѣтомъ. Если на пути лучей имѣются микрометрическія дѣленія, то въ этомъ случаѣ является справедливой формула Малляра:  $\sin E = D \cdot K$ , гдѣ  $D$  есть число дѣленій,  $K$  — разъ на всегда опредѣленная константа для данной оптической системы (объектива), которую удобнѣе всего получить при помощи пластинки, вырѣзанной строго перпендикулярно къ первой биссектриссѣ, видимый уголъ оптическихъ осей которой извѣстенъ.

При наблюденияхъ въ сходящемся свѣтѣ по наиболѣе простому способу, именно по способу Лазо (Lasaulx), на пути лучей



обыкновенно не имѣется дѣленій. Хотя и можно вставить дѣленія въ соотвѣтствующій объективъ такъ, чтобы они были ясно видны одновременно съ осевой фигурой, однако, при этомъ получается то неудобство, что данный объективъ тогда уже гораздо менѣе пригоденъ для обыкновенныхъ наблюдений; неудобство заключается, помимо всѣхъ другихъ, и въ томъ, что изображенія, получаемыя при этомъ способѣ наблюденія, очень малы, а поэтому ошибки измѣреній весьма велики.

Поэтому, для измѣренія видимаго угла оптическихъ осей подъ микроскопомъ лучше всего пользоваться линзой Бертрана или лупой Клейна, которыя даютъ осевую фигуру въ увеличенномъ видѣ. Бертрановская линза, которая превращаетъ окуляръ во вспомогательный микроскопъ, позволяетъ сдѣлать измѣреніе при помощи окулярнаго микрометра, т. е. при помощи дѣленій, помѣщенныхъ въ фокусъ окуляра. У Клейновской же лупы, которая надѣвается на окуляръ, дѣленія должны быть вдѣланы въ особую, надѣвающуюся на окуляръ часть и должны быть подвижны по отношенію къ лупѣ. Правильная одновременная установка лупы и дѣленій, при послѣдней методѣ, представляетъ нѣкоторыя затрудненія и, благодаря параллаксу, часто получаются ошибки въ измѣреніяхъ.

Если, вмѣсто вдѣланнаго накрѣпко микрометра, въ окулярѣ имѣется нитяной крестъ, передвигаемый посредствомъ микрометрическаго винта, то точку пересѣченія этого креста устанавливаютъ послѣдовательно на полюсы обѣихъ гиперболъ и отсчитываютъ на головкѣ винта пройденное разстояніе. Получаемые при этомъ результаты нѣсколько болѣе точны, чѣмъ результаты, получаемые при помощи вдѣланнаго накрѣпко микрометра. Наконецъ, данную осевую фигуру можно также перерисовать на бумагу съ дѣленіями, при помощи надѣвающейся на микроскопъ рисовальнаго аппарата, что иногда представляетъ нѣкоторыя удобства.

Такъ какъ изъ разстоянія между полюсами гиперболъ можно вывести синусъ видимаго угла оптическихъ осей, то, при подобныхъ опредѣленіяхъ, очень удобно пользоваться такъ называемой синусовой линейкой, такъ, напр., скалой угловъ оптическихъ осей Шварцманна (рис. 88). Обѣ линейки *a* и *b* могутъ быть передвигаемы; верхняя даетъ число дѣленій, нижняя — величину соотвѣтствующаго угла оптическихъ осей, если обѣ линейки находятся въ положеніи, вычисленномъ разъ на всегда для даннаго объектива. Установка на рис. 88 произведена такимъ образомъ, что уголъ оптическихъ осей для арагонита былъ измѣренъ съ опредѣленнымъ объективомъ, при помощи вдѣланнаго накрѣпко микрометра, при натрѣивомъ освѣщеніи. Получились 5,9 штриховъ, которые соотвѣтствуютъ видимому углу оптическихъ осей арагонита въ  $30^{\circ} 15'$ . Если теперь  $30^{\circ} 15'$  дѣленій нижней линейки поставить какъ разъ противъ 5,9 дѣленій верхней, то скала установлена для





Рис. 88. Скала Шварцманна для угловъ оптическихъ осей.

даннаго объектива. Положимъ, что мы изслѣдовали пластинку топаза и нашли 17,6 дѣлений; тогда этой величинѣ соотвѣтствуетъ  $99^\circ$  нижней скалы, т. е. уголъ оптическихъ осей даннаго топаза равенъ  $99^\circ$ .

Скала имѣетъ еще то преимущество, что по ней можно безъ всякихъ вычисленій получить величину истиннаго угла оптическихъ осей изъ видимаго, если известна величина среднего показателя преломленія  $\beta$ . Для этого величину  $\beta$  наносятъ на верхней скалѣ (напр. 1,61 для топаза) и отмѣриваютъ, при помощи циркуля, величину  $x$  отъ дѣленія 1 до даннаго дѣленія. Затѣмъ, эту величину наносятъ на нижней скалѣ, начиная отъ величины измѣреннаго видимаго угла оптическихъ осей назадъ и получаютъ величину истиннаго угла, въ нашемъ примѣрѣ около  $56^\circ$ .

Опредѣленіе характера двойного преломленія у двуосныхъ минераловъ имѣетъ, конечно, значеніе только тогда, когда можно быть увѣреннымъ, что мы имѣемъ дѣло съ разрывомъ, перпендикулярнымъ къ первой или второй биссектрисѣ. Какъ разъ у породообразующихъ минераловъ случается сравнительно часто, что бываетъ не легко разрѣшить вопросъ, имѣемъ ли мы передъ собой разрывъ, перпендикулярный къ первой или второй биссектрисѣ (плагіоклазы, оливинъ, эпидотъ и т. д.), такъ что часто приходится отказываться отъ этого характеристичнаго признака, такъ какъ положительной первой соотвѣтствуетъ отрицательная вторая биссектриса и обратно. Если же можно быть увѣреннымъ, которая изъ биссектрисъ имѣется передъ нами, то опредѣленіе не трудно. Тогда наблюдаютъ тѣ измѣненія, которыя вызываетъ въ осевой фигурѣ пластинка въ  $\frac{1}{4} \lambda$ , вложенная на  $45^\circ$  къ николямъ, когда плоскость оптическихъ осей параллельна направлѣнію колебаній въ николяхъ. При этомъ, черный крестъ исчезаетъ, а цвѣтныя кривыя разлагаются такимъ образомъ, что въ двухъ противоположащихся секторахъ кривыя дѣлаются уже, а въ двухъ другихъ — шире, причемъ расширеніе кривыхъ происходитъ въ тѣхъ двухъ секторахъ, черезъ которые проходитъ направлѣніе наибольшей скорости колебаній во вспомогательной пластинкѣ, если кристаллъ отрицателенъ, и обратно, если кристаллъ положителенъ. Однако, эту реакцію можно



съ точностью воспроизвести только на хорошо ориентированныхъ и вообще благоприятныхъ объектахъ, поэтому ее примѣняютъ рѣже, чѣмъ другую, которая основана на компенсаціи двойного преломленія.

Если осевую интерференціонную фигуру двуоснаго кристалла привести въ положеніе на  $45^\circ$  по отношенію къ николямъ, то въ срединѣ поля зрѣнія мы будемъ наблюдать интерференціонный цвѣтъ, соответствующій запаздыванію двухъ лучей, проходящихъ черезъ кристаллъ параллельно данной биссектриссѣ. Одинъ изъ нихъ колеблется параллельно плоскости оптическихъ осей, т. е. со скоростью, соответствующей другой биссектриссѣ, другой — со скоростью, соответствующей оптической нормали. Если мы, напримѣръ, имѣемъ оптически отрицательный кристаллъ, вырѣзанный перпендикулярно къ первой биссектриссѣ, то въ немъ происходитъ слѣдующее: тотъ изъ двухъ лучей, который совершаетъ свои колебанія въ плоскости оптическихъ осей, колеблется параллельно второй биссектриссѣ, являющейся въ данномъ случаѣ направлениемъ самой меньшей скорости въ кристаллѣ, т. е. величиной меньшей, чѣмъ перпендикулярная къ ней величина оптической нормали. Если мы теперь помѣстимъ одинъ изъ компенсаторовъ такъ, чтобы направленіе наибольшей скорости колебаній въ немъ было параллельно плоскости оптическихъ осей въ кристаллѣ, то равнозначущія направленія будутъ скрещены, и получается впечатлѣніе, какъ будто мы кристаллъ сдѣлали тоньше; интерференціонный цвѣтъ понижается, кольца расширяются. Оптически двуосный кристаллъ отрицателенъ, если въ разрѣзѣ, перпендикулярномъ къ первой биссектриссѣ, при параллельности плоскости оптическихъ осей и направленія наибольшей скорости колебаній въ компенсаторѣ, двойное преломленіе компенсируется (*sich subtrahiert*), то положителенъ, если оно усиливается (*sich addiert*); обратное положеніе, конечно, справедливо для разрѣзовъ, перпендикулярныхъ къ соответствующей второй биссектриссѣ.

Далѣе, представляется интереснымъ узнать положеніе плоскости оптическихъ осей по отношенію къ контурамъ кристалла, т. к. это иногда даетъ характеристичные признаки. Интерференціонную фигуру кристалла помѣщаютъ точно въ положеніе на  $45^\circ$  и наблюдаютъ истинное ея изображеніе, причемъ предметный столикъ остается неподвижнымъ. Направленіе, соединяющее полюсы обѣихъ гиперболической интерференціонной фигуры есть направленіе плоскости оптическихъ осей. При этомъ безразлично, какой методъ пользоваться для наблюденія въ сходящемся свѣтѣ, т. к. вращеніе изображенія не измѣняетъ значения значенія направленія въ плоскости разрѣза.

Это вращеніе приходится, однако, принимать въ расчетъ, если дѣло идетъ о наклонѣ биссектриссы къ вертикали и требуется констатировать, въ какомъ направленіи она отклонена; при этомъ нужно имѣть въ виду, что, при наблюденіи безъ окуляра, интерференціонная фигура является обратной по отношенію къ изображенію предмета, такъ какъ при наблюденіяхъ съ окуляромъ оба изображенія расположены одинаково.



Явленія, получаемыя, когда двусный кристаллъ вырѣзанъ косо къ главнымъ направленіямъ колебаній, иллюстрируются лучше всего рисункомъ 89, на которомъ изображены фигуры, представляемыя тремя произвольно ориентированными разрѣзами топаза. при вращеніи препарата на  $90^\circ$ . Въ противоположность явленіямъ, наблюдаемымъ у оптически одноосныхъ кристалловъ (рис. 73, стр. 80). можно ясно видѣть, что здѣсь черныя балки, при своемъ перемѣщеніи по полю зрѣнія, вращаются вокругъ выхода оси, какъ около центра, т. к. въ данномъ случаѣ ихъ направленіе зависитъ не столько отъ положенія главныхъ свѣченій николей, сколько отъ ихъ отношенія къ положенію главныхъ направлений колебаній въ пластинкѣ.

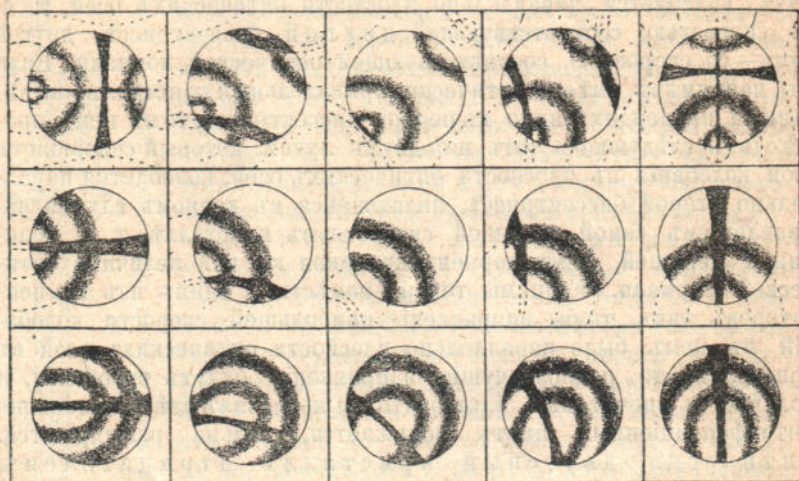


Рис. 89. Осевыя фигуры оптически двусныхъ кристалловъ, вырѣзанныхъ косо по отношенію къ биссектрисѣ.

Кромѣ разрѣзовъ, перпендикулярныхъ къ первой биссектрисѣ и перпендикулярныхъ къ одной изъ осей, которые подробно были описаны выше, интересъ представляютъ разрѣзы, перпендикулярные ко второй биссектрисѣ, и разрѣзы, параллельные плоскости оптическихъ осей. Если истинный уголъ оптическихъ осей какого-нибудь опредѣленнаго кристалла очень близокъ къ  $90^\circ$ , то, какъ это уже было указано раньше, часто бываетъ трудно отличать первую биссектрису отъ второй. Когда не требуется точнаго измѣренія или нельзя его произвести, т. к. не имѣется объектива съ достаточной апертурой, то довольно пригодной является реакція съ параллельно поляризованнымъ свѣтомъ. Если имѣется два хорошо ориентированныхъ разрѣза одинаковой толщины, каждый параллельно одной изъ биссектрисъ, то разрѣзъ, перпендикулярный второй биссектрисѣ, даетъ болѣе высокіе интерференціонные цвѣта. Когда острый уголъ оптическихъ осей уменьшается, а тупой, слѣдовательно, увеличивается, то возрастаетъ, само собой разумѣется, и разница въ интерференціонныхъ цвѣтахъ; въ то же время лемнискаты осевой интерференціонной фигуры въ разрѣзѣ, перпендикулярномъ второй биссектрисѣ, дѣлаются шире, темныя балки только своими концами попадаютъ въ поле зрѣнія и проходятъ черезъ него въ видѣ очень неясныхъ полосъ; словомъ, измѣненіе происходитъ такое, какъ будто мы производимъ наблюденіе все съ болѣе и болѣе слабымъ объективомъ. Обратный рядъ изображеній на рис. 70 (стр. 78) нагляднѣе всего даетъ понятіе о постепенномъ измѣненіи даннаго явленія. Когда, наконецъ



тупой уголъ оптическихъ осей сдѣляется очень большимъ, то, въ блѣдомъ свѣтѣ можно видѣть только нѣкоторый намѣкъ на раздѣленіе цвѣтовъ въ различныхъ квадрантахъ. Соотвѣтствующія гиперболамъ черныя балки выступаютъ въ полѣ зрѣнія только тогда, когда плоскость оптическихъ осей почти вполнѣ параллельно направленіямъ колебаній въ блѣдыхъ и являются очень широкими и плохо ограниченными, такъ что получается впечатлѣніе, какъ будто пластинка на всемъ протяженіи состоитъ попеременно изъ свѣтлыхъ и темныхъ участковъ. Последнее наблюдалось въ разрѣзѣ, параллельномъ плоскости оптическихъ осей, отъ котораго въ блѣдомъ свѣтѣ нельзя отличить разрѣзы, перпендикулярные къ линіи, дѣлящей пополамъ большой тупой уголъ оптическихъ осей, а также разрѣзы оптически однооснаго минералла, параллельные оптической оси. Ихъ иногда можно отличить въ монохроматическомъ свѣтѣ, т. к., соотвѣтственно цвѣтнымъ кривымъ въ блѣдомъ свѣтѣ, въ разрѣзѣ, перпендикулярномъ ко второй биссектрисѣ здѣсь выступаютъ черныя кривыя, которыя представляютъ собой отрѣзки лемнискаты и на краю поля зрѣнія загибаются къ мѣстамъ выхода осей (рис. 10). Тогда какъ аналогичныя кривыя въ разрѣзѣ, параллельномъ плоскости оптическихъ осей двуоснаго кристалла или параллельномъ оси однооснаго кристалла, представляютъ собой гиперболы, не обнаруживающія никакого загибанія. Хотя эта реакція и не обладаетъ чувствительностью, необходимой для точнаго рѣшенія вопроса, тѣмъ не менѣе въ нѣкоторыхъ случаяхъ бываетъ цѣлесообразно разсмотрѣть подобныя осевыя фигуры въ монохроматическомъ свѣтѣ, т. к. при этомъ гораздо лучше можно судить о томъ, насколько точно ориентированъ данный разрѣзъ. Такъ, напримѣръ, никогда не слѣдуетъ предпринимать опредѣленія направленія погасанія на разрѣзѣ моноклиническаго кристалла, не убѣдившись предварительно въ сходящемся поляризованномъ свѣтѣ, что направление разрѣза дѣйствительно соотвѣтствуетъ направленію плоскости второго пинакоида (010) въ кристаллѣ; эта плоскость всегда перпендикулярна къ одному изъ трехъ главныхъ направленій колебаній и, следовательно, въ монохроматическомъ свѣтѣ даетъ всегда осевую фигуру, симметрическую по двумъ взаимно перпендикулярнымъ направленіямъ.

Въ разрѣзѣ, параллельномъ плоскости оптическихъ осей, подобно тому, какъ это было описано на стр. 81 для разрѣза однооснаго кристалла, параллельнаго оптической оси, можно ясно распознать положеніе второй биссектрисы по распредѣленію цвѣтовъ въ интерференціонной фигурѣ, при ея положеніи на  $45^\circ$ , предполагаая, что истинный уголъ оптическихъ осей не очень близокъ къ  $90^\circ$ . Въ обоихъ квадрантахъ, черезъ которые проходитъ острая биссектрисса, наступаетъ пониженіе интерференціонныхъ цвѣтовъ (resp., при довольно большомъ углѣ—очень слабое повышение), въ двухъ другихъ квадрантахъ—повышеніе (при довольно большомъ углѣ оптическихъ осей—болѣе сильное повышение, тѣмъ въ двухъ первыхъ квадрантахъ). Нижеслѣдующія числа даютъ соотвѣтствующія величины для оптически положительнаго гипса (уголъ оптическихъ осей  $59^\circ$ ), соотвѣтственно таблицѣ на стр. 81, причѣмъ подъ рубрикой I помѣщены величины—по отношенію къ острой биссектриссѣ и принадлежащія одной плоскости, а подъ рубрикой II—по отношенію къ тупой биссектриссѣ и принадлежащія плоскости, перпендикулярной къ I.

u	p	I		II	
		d	w	d	w
$0^\circ$	1,0000	0,0098	0,0098	0,0098	0,0098
$20^\circ$	1,0652	0,0089	0,0095	0,0096	0,0100
$40^\circ$	1,3054	0,0066	0,0086	0,0089	0,0116
$60^\circ$	2,0000	0,0040	0,0080	0,0082	0,0164



Какъ видно изъ этой таблицы, лучи, находящіеся въ плоскости I и наклоненные къ нормалѣмъ къ пластинкѣ на  $60^\circ$ , обнаруживаютъ почти половину запаздыванія, сравнительно съ соотвѣтствующими направленіями въ плоскости II.

## Двойниковыя образованія и оптическія аномаліи.

Многіе кристаллы состоятъ не изъ одного однороднаго недѣлимаго, но изъ двухъ или нѣсколькихъ индивидуумовъ, которые закономѣрно сростаются другъ съ другомъ. Такія образованія называютъ двойниками, тройниками, и т. д. Кристаллографическіе законы, по которымъ происходятъ такія сростанія, въ простѣйшихъ случаяхъ, можно установить внимательнымъ микроскопическимъ изслѣдованіемъ; при сложныхъ же сростаніяхъ, къ результатамъ, полученнымъ оптическимъ методомъ, слѣдуетъ относиться съ большою осторожностью, если они не подкрѣплены точными кристаллографическими измѣреніями.

Двойниковыя сростанія кубическихъ кристалловъ можно узнать подъ микроскопомъ только по внѣшней формѣ; такъ, напримѣръ, указаніемъ на нихъ могутъ служить входящіе углы. У оптически одноосныхъ минераловъ распознать двойники оптическимъ путемъ также не представляется возможнымъ, если главные оси въ различныхъ недѣлимыхъ расположены параллельно. Въ каждомъ размѣрѣ, проведенномъ черезъ такой двойникъ, направленіе колебаній обоихъ недѣлимыхъ, а также и скорость колебаній необыкновеннаго луча въ нихъ будутъ одинаковы; отношеніе различныхъ недѣлимыхъ къ сходящемуся поляризованному свѣту будетъ въ данномъ случаѣ также одинаково. Характернымъ примѣромъ можетъ служить кварцъ, который одинаково часто встрѣчается какъ въ видѣ вростающихъ, такъ и нарастающихъ кристалловъ съ параллельнымъ положеніемъ главныхъ осей, но опредѣлить двойники въ этихъ кристаллахъ микроскопическимъ путемъ представляется совершенно невозможнымъ.

Если же главные оси недѣлимыхъ, находящихся въ двойниковомъ положеніи, наклонены одна къ другой, то въ каждомъ разрѣзѣ, проведенномъ косо или перпендикулярно къ двойниковой плоскости, мы будемъ наблюдать, что погасаніе составныхъ частей наступаетъ не одновременно, т. е., когда одна часть двойника является темной, другая, косо отграниченная отъ нея двойниковымъ швомъ, будетъ казаться свѣтлой, и обратно. Однако, при этомъ слѣдуетъ быть осторожнымъ и не выводить поспѣшнаго заключенія о двойниковомъ законѣ по углу, который образуютъ между собой направленія колебаній въ обоихъ кристаллахъ, т. к. истинный наклонъ обоихъ главныхъ осей можно опредѣлить только въ разрѣзѣ, который въ обоихъ кристаллахъ прошелъ перпендикулярно къ двойниковой плоскости.

Двойники ромбическихъ кристалловъ обыкновенно легче поддаются опредѣленію. Даже когда главные оси параллельны, у



сильно плеохроичныхъ веществъ различная окраска отдѣльныхъ частей даетъ иногда указаніе на присутствіе двойниковыхъ образованій. Труднѣ ихъ распознать, когда плеохроизмъ выраженъ неявно или когда уголъ оптическихъ осей очень великъ, — при положеніи плоскости оптическихъ осей, перпендикулярномъ къ двойниковой плоскости, или, наконецъ, когда биссектрисса очень малаго угла оптическихъ осей лежитъ въ двойниковой плоскости; въ обоихъ послѣднихъ случаяхъ въ тѣхъ разрѣзахъ, въ которыхъ можно было бы лучше всего распознать двойниковое срастаніе, направленія погасанія совпадаютъ, и интерференціонныя цвѣта являются очень близкими. Однако, въ сходящемся поляризованномъ свѣтѣ обыкновенно бываетъ возможно и въ этихъ случаяхъ выяснитъ различную ориентировку отдѣльныхъ частей. Если, съ другой стороны, кристаллографическія оси срастающихся кристалловъ направлены косо одна къ другой, то двойниковое срастаніе легко отличить по различному погасанію, и оба недѣлимыхъ являются одинаково свѣтлыми только тогда, если, какъ это показано на рис. 90 (ставролитъ), оба недѣлимыхъ одинаково наклонены къ николямъ.

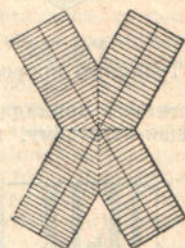


Рис. 90.

Двойникъ съ наклонными осями.

Въ моноклинической системѣ преобладаютъ такіе двойники, у которыхъ кристаллографическая ось  $b$  лежитъ параллельно въ обоихъ недѣлимыхъ. Если кристаллы какого-нибудь вещества развиты призматически по этой оси, то прежде всего слѣдуетъ изслѣдовать зону этой самой оси. Когда не имѣется разрѣзовъ, сильно наклоненныхъ къ оси  $b$ , то для такихъ кристалловъ является справедливымъ то, что было сказано о ромбическихъ кристаллахъ съ параллельными главными осями: ихъ не всегда можно съ достовѣрностью распознать оптическимъ путемъ, какъ это, напр., можно видѣть на весьма распространенныхъ двойникахъ эпидота, которые можно опредѣлить только въ рѣдкихъ случаяхъ. Въ разрѣзахъ же, проходящихъ наклонно или перпендикулярно къ оси  $b$  легко узнать двойникъ по различному положенію направленій колебаній, какъ это показываетъ призмѣръ діопсида на рис. 91.



Рис. 91.

Что касается до двойниковъ триклиннческо-Моноклиническихъ веществъ, то ихъ можно узнать во всѣхъ разрѣзахъ, такъ какъ направленія колебаній вообще расположены не параллельно.

Иногда случается, что не только два, но три или болѣе недѣлимыхъ закономѣрно срастаются другъ съ другомъ. Изъ срастаній трехъ недѣлимыхъ, тройниковъ, слѣдуетъ въ особенности отмѣтить своеобразныя тройники проростанія нѣкоторыхъ ромбическихъ и моноклиническихъ кристалловъ, которые обладаютъ угломъ призмы приблизительно



въ  $120^\circ$ . Они соединяются вмѣстѣ въ псевдогексагональные кристаллы такъ, какъ это изображено на рис. 92.

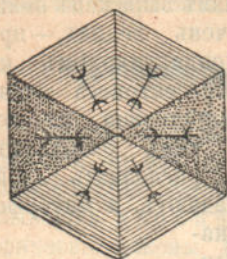


Рис. 92.

Тройникъ проростанія.

Тройникъ принадлежитъ одному недѣлимому, другая—второму, слѣдующая—третьему, и т. д. Наконецъ, бываетъ, что система пластинокъ,



Рис. 93.  
Двойниковая  
штриховатость.

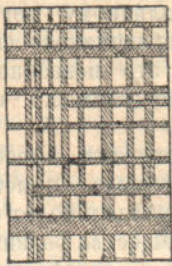


Рис. 94.  
Рѣшетчатая  
штриховатость.

происшедшая отъ двойниковаго образования по опредѣленному закону, пересѣкается второй системой, образованной по другому закону; это явленіе, которое отличается иногда весьма тонкимъ строеніемъ пластинокъ, извѣстно подъ названіемъ рѣшетчатой штриховатости (Gitterlamellierung). Рис. 94 представляетъ собой случай рѣшетчатой штриховатости по альбитовому и периклиновому закону у плагиоклаза.

Это сложное строеніе кристалловъ изъ многочисленныхъ перемежающихся двойниковыхъ пластинокъ весьма распространено въ большихъ полиморфныхъ группахъ (группа эпидота, группа полевыхъ шпатовъ), причемъ модификація съ болѣе низкой симметрией, посредствомъ подобнаго повторнаго двойниковаго образования, приближается по своей внѣшней формѣ къ модификаціи съ болѣе высокой симметрией; это приближеніе тѣмъ болѣе совершенно, чѣмъ тоньше отдѣльныя недѣлимые, пока, наконецъ, они не достигаютъ такой малой величины, что ихъ уже болѣе нельзя отличить подъ микроскопомъ. Тогда и оптическія свойства этой модификаціи совпадаютъ со свойствами модификаціи съ болѣе высокой симметрией. Этотъ постепенный переходъ отъ низкой къ высшей симметріи, посредствомъ сложнаго двойниковаго образования, послужилъ исходнымъ пунктомъ для теоріи Маллара, предполагающей, что многіе кристаллы высшей симметріи произошли черезъ двойниковое сроснаніе недѣлимыхъ низкой симметріи.

Съ другой стороны, часто можно наблюдать, что вещества, которыя, при извѣстной температурѣ, кристаллизуются въ опредѣленной системѣ, при измѣненіи ея, распадаются на сложный комплексъ двойниковъ, состоящихъ изъ недѣлимыхъ съ низкой симметрией. Съ давнихъ поръ это было доказано для лейцита и борацита, которые, въ моментъ ихъ образованія, имѣвшій во всякомъ случаѣ мѣсто при повышенной температурѣ, кристаллизовались въ кубической системѣ, но при охлажденіи являлись уже неустойчивыми въ этой модификаціи и превратились въ неправильный комплексъ двупреломляющихъ пластинокъ. Нагрѣваніемъ до извѣстной температуры можно эти кристаллы



доставити до кубическаго положенія равновѣсія, но охлажденіе опять вызываетъ въ нихъ распаденіе на пластинки двупреломляющей модификаціи.

Для опредѣленія часто встрѣчающихся въ горныхъ породахъ моноклиническихъ и триклиническихъ кристалловъ, состоящихъ изъ двойниковыхъ пластинокъ, наблюдаемыхъ въ произвольныхъ разрѣзахъ, былъ предложенъ цѣлый рядъ способовъ, отчасти основывающихся на наблюденіи взаимныхъ отношеній двойниковыхъ недѣлимыхъ. Наиболѣе простымъ изъ нихъ является опредѣленіе угла погасанія на цѣломъ рядѣ разрѣзовъ, изъ которыхъ оба недѣлимыхъ обладаютъ симметрическимъ погасаніемъ по отношенію къ двойниковой границѣ, и которые, слѣдовательно, проведены перпендикулярно къ двойниковой плоскости. Другимъ способомъ является опредѣленіе положеній одинаковой интенсивности цвѣта, „égale intensité lumineuse“ которую обнаруживаютъ въ поляризованномъ свѣтѣ очень тонкія пластинки двойниковыхъ кристалловъ со слабымъ двойнымъ преломленіемъ (болѣе толстыя пластинки, а также пластинки съ болѣе сильнымъ двойнымъ преломленіемъ обнаруживаютъ это явленіе только въ монохроматическомъ свѣтѣ). Подобный двойникъ, въ области частяхъ котораго направленія колебаній расположены наклонно одно къ другому, можно между перекрещенными николями признать за таковой не во всѣхъ положеніяхъ. Собственно говоря, при горизонтальномъ вращеніи кристалла на  $360^\circ$ , наблюдается 8 положеній, изъ которыхъ четыре перпендикулярны къ другимъ четыремъ и въ которыхъ обѣ половины являются одинаково свѣтлыми, такъ что двойниковая граница окончательно исчезаетъ. Эти обѣ группы положеній, по четыре въ каждой, можно отличить одну отъ другой слѣдующимъ образомъ: если пластинки мѣстами наложены клинообразно одна на другую, то данныя мѣста у одной группы являются такими же свѣтлыми, какъ осталшая часть кристалла, а у другой—темнѣе. Этой методою опредѣленія положеній одинаковой интенсивности свѣта пользовались, главнымъ образомъ, для опредѣленія плагиоклазовъ, но общаго примѣненія она себѣ не нашла.

Что касается оптическихъ аномалій, то ихъ тоже нерѣдко можно наблюдать при микроскопическихъ изслѣдованіяхъ. Колебанія въ углахъ оптическихъ осей двусныхъ кристалловъ, небольшое расхожденіе чернаго креста одноосныхъ кристалловъ (при вращеніи въ сходящемся поляризованномъ свѣтѣ), пятнообразное просвѣтленіе кристалловъ правильной системы между скрещенными николями,—все это явленія необычайно распространенныя. Вокругъ включеній въ стеклѣ или въ кубическихъ кристаллахъ наблюдается нерѣдко, въ параллельномъ поляризованномъ свѣтѣ, слегка просвѣтляющійся участокъ, пересѣкаемый чернымъ крестомъ (крестъ Брюстера).

Далѣе, очень распространено явленіе, заключающееся въ томъ, что кристаллы, по внѣшней формѣ принадлежащіе къ правильной системѣ, обнаруживаютъ въ цѣломъ или въ опредѣленныхъ, правильно ограниченныхъ частяхъ ненормальные оптичскія свойства: они обладаютъ двойнымъ лучепреломленіемъ. На подобныя явленія у лейцита и борацита и на распаденіе этихъ минераловъ, при охлажденіи, на комплексы двойниковъ было уже указано раньше; строго говоря, эти законѣрные явленія относятся не къ аномаліямъ, какъ они часто называются, но представляютъ собой явленія параморфозъ. Къ настоящимъ оптическимъ аномаліямъ относятся только тѣ случаи, когда мы наблюдаемъ, что



нѣкоторые кристаллы вполне измѣняютъ свои оптическія свойства, благодаря примѣси другихъ веществъ въ количествахъ, едва уловимыхъ химически—все равно изоморфныхъ ли данному веществу, или нѣтъ—напр., кристаллы калиевыхъ квасцовъ, благодаря незначительной подмѣси амміачныхъ квасцовъ, превращаются въ образованіе, сохраняющее по внѣшней формѣ кубическую симметрію, а внутри состоящее изъ нѣсколькихъ двупреломляющихъ пирамидъ.

Можно вообще сказать, что строеніе такихъ кристалловъ находится въ тѣснѣйшей связи съ ихъ внѣшней формой, такъ что подобные кристаллы состоятъ изъ столькихъ пирамидъ, сколько имѣется внѣшнихъ граней, при чемъ каждая грань кристалла представляетъ собой основаніе такой пирамиды, а вершины этихъ пирамидъ сходятся въ центрѣ. Если внѣшняя форма кристалла, какъ послѣднее ограниченіе кристалла, не сохранена, то это не имѣетъ вліянія на внутреннее его строеніе, такъ какъ нарушеніе оптическихъ свойствъ произошло не послѣ завершенія формы кристалла, а имѣетъ своимъ началомъ самыя внутреннія части кристалловъ. Подобныя раздѣленія на отдѣльныя секторы наблюдаются довольно часто у кристалловъ правильной системы, нерѣдко и у одноосныхъ. Они встрѣчаются тѣмъ рѣже, чѣмъ ниже симметрія кристаллографической системы, такъ какъ оптически аномальный кристаллъ всегда соотвѣтствуетъ, въ своихъ оптическихъ свойствахъ, болѣе низкой симметріи, чѣмъ та, къ которой принадлежитъ нормальный кристаллъ. Характерно, что нѣкоторые соединенія очень легко подпадаютъ такому оптическому вліянію, такъ что они почти совершенно неизвѣстны въ нормальномъ состояніи, а у другихъ соединеній явленія оптическихъ аномалій совсѣмъ не наблюдаются.

Итакъ, явленія, описанныя подъ названіемъ аномалій оптически изотропныхъ тѣлъ, бываютъ трехъ родовъ. Во-первыхъ, просвѣтленіе, наблюдаемое между скрещенными николями, около включеній съ Брюйстеровымъ крестомъ. Это просвѣтленіе несомнѣнно вызывается натяженіями и встрѣчается какъ у аморфныхъ, такъ и у тѣлъ, принадлежащихъ къ правильной системѣ. Во-вторыхъ, раздѣленіе на секторы, соотвѣтственно внѣшней формѣ; оно обыкновенно происходитъ благодаря постороннимъ междумолекулярнымъ примѣсямъ и, слѣдовательно, точно также имѣетъ характеръ явленій натяженія. Наконецъ, въ третьихъ, двойниковая и рѣшетчатая штриховатость, причину которой слѣдуетъ, въ общемъ, искать въ диморфизмѣ данного вещества и въ зависящемъ отъ него образованіи параморфозъ.



## Приложение.

### Вспомогательные аппараты.

Въ качествѣ приложенія къ микроскопу въ нѣкоторыхъ случаяхъ бываетъ желателенъ цѣлый рядъ сложныхъ вспомогательныхъ аппаратовъ, которые имѣютъ большое значеніе при нѣкоторыхъ спеціальныхъ изслѣдованіяхъ. Ради полноты здѣсь слѣдуетъ о нихъ упомянуть. Полное ихъ перечисленіе и детальное описаніе здѣсь не имѣется въ виду; нижеслѣдующее имѣетъ цѣлью дать только общія указанія относительно пользованія этими аппаратами. Изъ нихъ три группы вспомогательныхъ аппаратовъ имѣютъ наибольшее значеніе:

1. Вращательные аппараты.
2. Нагрѣвательные аппараты.
3. Репродукціонные аппараты.

Важнѣйшіе типы ихъ описаны вкратцѣ въ нижеслѣдующемъ.

#### 1. Вращательные аппараты.

Подъ именемъ вращательныхъ аппаратовъ понимаютъ цѣлый рядъ простыхъ или сложныхъ принадлежностей микроскопа, которыя, помимо вращенія изслѣдуемаго объекта вокругъ оси предметнаго столика, позволяютъ вращать его еще около одной или нѣсколькихъ осей. Старинные приборы такого рода служили исключительно для гониометрическихъ изслѣдованій: это такъ называемые микроскопическіе гониометры, которые теперь уже едва ли имѣютъ значеніе. Въ противоположность этому, мы имѣемъ цѣлый рядъ приспособленій, начиная отъ самыхъ простыхъ и кончая настоящими универсальными столиками, кторые прежде всего служатъ для изслѣдованія объектовъ по различнымъ направленіямъ, послѣдовательно подвергающихся наблюденію при работѣ съ этими аппаратами.

Эти аппараты, въ общихъ чертахъ, основаны на двухъ различныхъ принципахъ. Въ однихъ аппаратахъ этого рода пытаются устранить отклоненіе и полное внутреннее отраженіе лучей при прохожденіи ихъ черезъ кристаллъ, грани котораго образуютъ большій или меньшій наклонъ къ оси инструмента, тѣмъ,



что кристаллы или микроскопическій препаратъ вкладываютъ между двумя плосковыпуклыми линзами, такъ что, при каждомъ его положеніи, плоскость, на которую падаютъ лучи, и плоскость, на которой они выходятъ, перпендикулярны къ направленію распространенія лучей, проходящихъ черезъ препаратъ. Въ другихъ инструментахъ объектъ погружаютъ въ жидкость, находящуюся въ стеклянномъ сосудѣ съ плоскопараллельными стѣнками и обладающую очень близкимъ, по сравненію съ объектомъ, свѣтопреломленіемъ. Первый способъ оказался весьма пригоднымъ во многихъ случаяхъ, когда дѣло идетъ объ изслѣдованіи шлифовъ; второй способъ примѣнялся чаще при изученіи изолированныхъ кристалловъ, въ послѣднее же время онъ съ большимъ успѣхомъ былъ примѣненъ и для изслѣдованія шлифовъ.

**а) Вращательные аппараты для наблюденій между двумя плоско-выпуклыми линзами.**

Наиболѣе простой изъ этихъ аппаратовъ предложенъ Шрёдеръ-фанъ-деръ-Колькомъ. Онъ состоитъ всего изъ пары линзъ, изъ которыхъ одна, діаметромъ около 25 мм., вкладывается въ свѣтовое отверстіе предметнаго столика и можетъ тамъ быть вращаема во всѣхъ направленіяхъ, а другой, меньшей линзой, діаметромъ около 8 мм., покрывается центральная часть препарата. Обѣ линзы должны быть приготовлены такъ, чтобы препаратъ помѣщался, по возможности точно, въ фокусѣ этой системы, т. е. нижняя линза должна отличаться отъ формы полушара на толщину предметнаго, а верхняя на величину покровнаго стеклышка. На большій полушаръ прикрѣпляютъ, при помощи капли глицерина, предметное стеклышко, которое удобнѣе всего дѣлать круглымъ и нѣсколько меньшимъ, чѣмъ діаметръ линзы, и затѣмъ при возможно горизонтальномъ положеніи препарата точно центрируютъ подлежащее изслѣдованію мѣсто. Затѣмъ, маленькой каплей глицерина прикрѣпляютъ на покровномъ стеклышкѣ вторую линзу и передвигаютъ ее до тѣхъ поръ, пока изслѣдуемый объектъ, который теперь кажется приблизительно вдвое большимъ, чѣмъ прежде, не окажется вновь какъ разъ въ серединѣ поля зрѣнія. Послѣ этого опредѣляютъ оба главныхъ направленія колебаній въ объектѣ и затѣмъ вращаютъ нижнюю линзу около одного изъ этихъ направлений, какъ около оси, при чемъ постоянно наблюдаютъ въ параллельномъ поляризованномъ свѣтѣ. Чтобы избѣжать происходящихъ при этомъ различныхъ случайностей, которыя неминуемы при такомъ вращеніи отъ руки, можно для вращенія воспользоваться маленькимъ аппаратомъ, подобнымъ предметному зажиму, изображенному на рис. 14 (стр. 15); онъ лежитъ на препаратѣ на подобіе пера и можетъ быть вращаемъ около горизонтальной оси; величину вращенія можно отсчитывать на маленькомъ кругѣ съ дѣленіями.



Прежде всего данное главное направление колебаній приводить въ положеніе параллельное съ осью вращенія, причемъ вращеніе это можно произвести точно и измѣрить. Если мы, напр., имѣемъ кристаллы, вытянутые по призмѣ, которые обладаютъ прямымъ погасаніемъ и въ сходящемся свѣтѣ не даютъ характерной осевой фигуры, то мы сперва производимъ вращеніе такимъ образомъ, чтобы длинный размѣръ кристалла служилъ осью вращенія и располагался бы параллельно одному изъ направлений колебаній въ николяхъ. При этомъ возможны два случая: кристаллъ при вращеніи или остается все время темнымъ, или же вступаетъ постепенное просвѣтлѣніе и нужно, послѣ нѣкотораго вращенія аппарата, еще повернуть кристаллъ около вертикальной оси на нѣкоторую величину, чтобы достигнуть темноты. Въ этомъ случаѣ кристаллъ—моноклиническій. Если же кристаллъ остался все время темнымъ, то нужно произвести второе вращеніе около горизонтальной оси, перпендикулярной къ первой и затѣмъ повторить тотъ же рядъ наблюденій. Если кристаллъ и теперь остается темнымъ при полномъ вращеніи, то онъ принадлежитъ къ тетрагональной, гексагональной или ромбической системѣ; если онъ постепенно просвѣтляется, то онъ принадлежитъ моноклинической системѣ и вытянуть параллельно оси  $b$ .

Если во всѣхъ случаяхъ наблюдалось прямое погасаніе, то длинный размѣръ кристалла мы опять принимаемъ за ось вращенія и устанавливаемъ его на  $45^\circ$  къ николямъ такъ, чтобы онъ показывалъ наиболѣе интенсивные интерференціонные цвѣта. Если теперь произвести вращеніе около этого направленія, какъ около оси, и если при этомъ не происходитъ измѣненія интерференціоннаго цвѣта, то кристаллъ оптически одноосенъ; если же измѣненіе наблюдается, то кристаллъ ромбическій. Прослѣживая далѣе всѣ измѣненія, которые при этомъ наблюдаются, въ сходящемся поляризованномъ свѣтѣ, для чего слѣдуетъ только некого поднять тубусъ микроскопа, не измѣняя оптическихъ приспособленій, мы получаемъ въ этомъ простомъ аппаратѣ весьма важное вспомогательное средство для качественнаго изслѣдованія кристалловъ.

Этотъ аппаратъ дѣлается еще болѣе цѣннымъ, если приготовить цѣлый рядъ большихъ линзъ, которыя на плоской сторонѣ, въ срединѣ, имѣютъ полушарообразныя отверстія различныхъ діаметровъ. Тогда въ эти углубленія можно класть кристаллы большихъ размѣровъ, отшлифованные камни и т. п. и изслѣдовать ихъ по различнымъ направленіямъ въ жидкости съ близкимъ показателемъ преломленія въ параллельномъ и сходящемся свѣтѣ, что даетъ прекрасные результаты, напр., при изслѣдованіи драгоцѣнныхъ камней.

На этомъ же принципѣ основанъ цѣлый рядъ другихъ приборовъ, изъ которыхъ мы опишемъ здѣсь только большую модель Федоровскаго универсальнаго столика \*). Рис. 95 представляетъ изображеніе такого столика, снабженнаго тремя осями вращенія. Онъ состоитъ изъ статива  $l$ ,  $l_1$ , который насаживается на предметный столикъ микроскопа и въ которомъ весь столикъ можетъ, при помощи винта  $k$ , вращаться около горизонтальной оси—величину вращенія можно отсчитывать по кругу съ дѣленіями  $T$ . Снабженному нониусомъ—причемъ ось можетъ быть закрѣплена винтомъ  $f$ . Къ этой оси прикрѣпленъ нониусъ  $n$ , по отношенію

\* Описание примѣненія этого столика къ оптическому изслѣдованію можно найти въ „Курсѣ кристаллографіи“ проф. Е. С. Федорова, 3-е изд., т. II, въ главѣ „Пріемы оптическаго изслѣдованія“, а также въ статьяхъ Е. С. Федорова, помѣщенныхъ въ Groth's „Zeitschrift für Krystallographie und Mineralogie“ и „Запискахъ И. СПб. Минералогическаго Общества“.



къ которому столикъ *K* можетъ быть вращаемъ въ своей плоско-

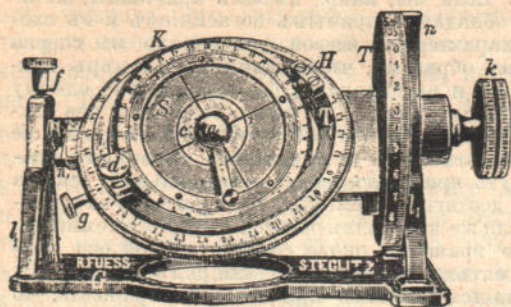


Рис. 95. Федоровскій универсальный столикъ.

сти около оси, перпендикулярной къ первой. Столикъ снабженъ еще третьей осью *H*, позволяющей произвести вращение во всякой плоскости, перпендикулярной къ движению столика. Наконецъ стеклянный столикъ *S*, съ находящимся на немъ препаратомъ, можетъ быть вращаемъ въ своей плоскости.

Препаратъ прикрѣпляется на столикъ глицериномъ; подъ стекляннымъ столикомъ *S*, а также и надъ препаратомъ прикрѣпляютъ, также при помощи глицерина, по одной плосковыпуклой линзѣ. Пригодность этого аппарата при изслѣдованіи кристалловъ съ высокимъ свѣтопреломленіемъ можно еще увеличить тѣмъ, что выбираютъ стекла для предметнаго столика, а также и для линзъ и, наконецъ, для стеколъ, между которыми заклеенъ препаратъ, изъ сортовъ съ болѣе высокимъ показателемъ преломленія и, соотвѣтственно этому, пользуются для соединенія отдѣльных частей между собой жидкостью съ болѣе высокимъ свѣтопреломленіемъ. Хотя этотъ аппаратъ и пригоденъ для нѣкоторыхъ изслѣдованій (напр., для изученія полевыхъ шпатовъ), тѣмъ не менѣе точность результатовъ вовсе не соотвѣтствуетъ тѣмъ сложнымъ механическимъ приспособленіямъ, которыми обладаетъ универсальный столикъ; необходимость имѣть для изслѣдованій съ этимъ приборомъ особые препараты, наклеенные по возможности на стекло особаго сорта является также препятствіемъ къ дальнѣйшему распространенію этого метода изслѣдованія.

#### б) Вращательные аппараты для изслѣдованія въ жидкостяхъ.

Эта метода, предложенная К. Клейномъ, служить главнымъ образомъ для изслѣдованія изолированныхъ кристалловъ или ихъ осколковъ; въ послѣдствіи она была примѣнена и къ изслѣдованію шлифовъ. Въ простѣйшемъ случаѣ аппаратъ состоитъ изъ сосуда, закрытаго съ нижней стороны плоскопараллельной стеклянной пластинкой и имѣющаго сбоку массивную коническую трубку, въ которой вращается стеклянный стержень, плотно замыкающій эту трубку и снабженный на внутреннемъ концѣ кристаллоносцемъ, а на наружномъ—дѣленіями.

Сосудъ наполняется жидкостью, по возможности, одинаковой свѣтопреломляемости съ той, которою обладаетъ кристаллъ; этотъ послѣдній точно ориентированъ перпендикулярно къ изслѣдуемой зонѣ и насаживается на стеклянный стержень. Съ помощью этого прибора можно, напр., опредѣлить направленіе погасанія на различныхъ граняхъ зоны; далѣе, если свѣтопреломленіе жидкости вполне совпадаетъ со среднимъ свѣтопреломленіемъ



кристалла, то можно непосредственно измѣрить истинный уголъ оптическихъ осей и т. д. Для того, чтобы при помощи всѣхъ этихъ вспомогательныхъ аппаратовъ, требующихъ большого разстоянія между объектомъ и объективомъ, можно было производить наблюденія и въ сходящемся поляризованномъ свѣтѣ, были построены спеціальныя объективы съ большимъ фокуснымъ разстояніемъ и не слишкомъ малымъ полемъ зрѣнія, которые, вмѣстѣ съ соотвѣтствующими конденсаторами, прилагаются къ вращательнымъ аппаратамъ.

Еще болѣе пригоднымъ является большой универсальный вращательный аппаратъ К. Клейна, который, благодаря возможности довольно точнаго юстированія и центрированія кристалла, помѣщающагося на кристаллоносцѣ, позволяетъ достигнуть весьма точныхъ измѣреній. При пользованіи этимъ приборомъ микроскопъ приводится въ горизонтальное положеніе, и на пути лучей помѣщается маленькій четырехугольный стеклянный сосудъ съ жидкостью, въ которую погружается кристаллъ. Плоскопараллельныя стѣнки сосуда, въ которомъ кристаллъ долженъ свободно вращаться, не касаясь ихъ, должны быть установлены, по возможности, перпендикулярно къ оптической оси микроскопа.

Наконецъ, такимъ же образомъ можно присоединить къ столу микроскопа маленькій гониометръ. При этомъ имѣется, однако, то неудобство, что, вѣдѣдствіе высоты юстировальнаго и центрировальнаго аппарата гониометра, фокусное разстояніе объективовъ должно быть еще больше; съ другой стороны, неудобство заключается въ томъ, что гониометръ приходится прикрѣплять совсѣмъ внѣ оси микроскопа и насаживать кристаллъ на весьма длинный кристаллоносецъ, который, изъ-за длиннаго рычага, даетъ, при малѣйшихъ вращеніяхъ юстировальныхъ винтовъ, столь большія отклоненія, что и это приспособленіе оказалось мало практичнымъ.

Для изслѣдованія шлифовъ по этому способу былъ устроенъ аппаратъ, изображенный на рис. 96. Сосудъ *B*, служащій для жидкости, закрыть въ *a* круглой, плоскопараллельной пластинкой. *S* — стѣнникъ, средняя часть которого состоитъ изъ стекла; на немъ объектъ можетъ быть прикрѣпленъ при помощи зажимовъ *e* и *e*<sub>1</sub>. Винтъ *k* служитъ для вращенія стѣнника *S* въ его собственной плоскости, благодаря перемѣнѣ съ помощью зубчатого колеса; *T* позво-

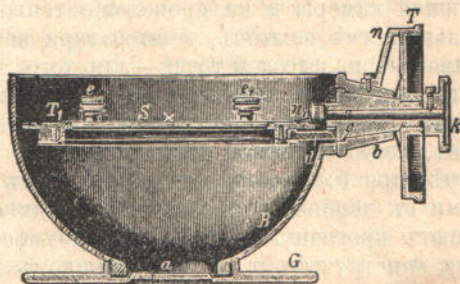


Рис. 96. Универсальный вращательный аппаратъ К. Клейна для шлифовъ.



ляетъ произвести вращеніе его около горизонтальной оси. Аппаратъ этотъ изготовляется для предметныхъ стеколъ различной величины; такимъ образомъ, этимъ аппаратомъ могутъ быть изслѣдованы обыкновенные препараты, для этого нужно только предварительно удалить съ нихъ покровное стеклышко и прилипшій къ нимъ канадскій бальзамъ.

## 2. Нагрѣвательные аппараты.

Ввиду того, что оптическія свойства кристалловъ зависятъ отъ температуры и нѣкоторыя вещества обнаруживаютъ значительныя измѣненія въ оптическихъ свойствахъ уже при сравнительно небольшихъ колебаніяхъ температуры, былъ построенъ рядъ аппаратовъ, позволяющихъ производить микроскопическія наблюденія при повышенной температурѣ, и которые должны быть построены такъ, чтобы можно было поддерживать опредѣленную постоянную температуру, легко провѣряемую. Подобные аппараты служатъ также и для того, чтобы наблюдать кристаллизацию *in statu nascendi* при повышенной температурѣ, почему микроскопы, снабженные такими аппаратами, называютъ также кристаллизационными микроскопами.

Нагрѣвательные аппараты находятся въ непосредственномъ, по возможности хорошо изолированномъ сообщеніи съ предметнымъ столикомъ микроскопа или же бываютъ независимы отъ него; послѣдняя конструкція примѣняется только для микроскоповъ съ одновременно вращающимися николями (рис. 13, стр. 15). Нагрѣвательный аппаратъ состоитъ, въ главныхъ чертахъ, изъ воздушной камеры, въ которую кладется изслѣдуемый препаратъ и которой при помощи газа или кислородныхъ мѣховъ, или электричества сообщается равномерная повышенная температура, могущая быть регулированной и контролируемой. Такъ какъ въ микроскопахъ имѣется много составныхъ частей, чувствительныхъ къ высокой температурѣ, напр., прежде всего николи, линзы, служащія для наблюденія, и линзы освѣтительнаго аппарата, то слѣдуетъ обращать особенное вниманіе на хорошее изолированіе воздушной камеры и на проведеніе теплоты, тѣмъ болѣе, что, при большинствѣ опытовъ, температура весьма долго должна поддерживаться на высокой точкѣ—для того, чтобы достигнуть равномернаго нагрѣванія кристалловъ, обыкновенно плохо проводящихъ тепло. Независимо отъ асбестовой оболочки достаточныхъ размѣровъ, надѣваемой на весь аппаратъ, пользуются, по крайней мѣрѣ при болѣе или менѣе высокихъ температурахъ, объективами съ двойнымъ футляромъ, между стѣнками котораго пропускаютъ проточную воду. Здѣсь не мѣсто разсматривать отдѣльныя конструкціи, т. к. ихъ слишкомъ много и онѣ примѣняются только для специальныхъ работъ; слѣдуетъ только замѣтить, что тотъ нагрѣвательный аппаратъ является наилучшимъ, который, при возможности долго поддерживать высокую температуру, мень-



не всего портитъ оптическія приспособленія микроскопа, т. к. такой аппаратъ въ то же время способенъ поддерживать возможно большее постоянство температуры.

### 3. Репродукционные аппараты.

Существуетъ цѣлый рядъ аппаратовъ, имѣющихъ цѣлью воспроизвести наблюдаемое подъ микроскопомъ, устранивъ по возможности всякую субъективность. По сколько-нибудь репродукціи могутъ быть произведены при помощи микрофотографіи, метода эта, конечно, является наиболѣе предпочтительной, вслѣдствіе ея полной объективности. Однако, съ другой стороны, имѣется цѣлый рядъ явленій, которыя фотографической пластинкой передаются не достаточно выразительно, въ особенности, когда дѣло идетъ о сравнительно второстепенныхъ явленияхъ, важныхъ только для какой-нибудь опредѣленной цѣли.

О микрофотографическихъ аппаратахъ слѣдуетъ сказать, что для воспроизведенія явленій, наблюдаемыхъ въ поляризационномъ микроскопѣ, большіе и сложные микрофотографические аппараты вовсе не примѣняются, т. к. увеличенія, съ которыми здѣсь обыкновенно приходится имѣть дѣло, сравнительно невелики. Обладая нѣкоторымъ навыкомъ, можно легко достигнуть цѣли, если, имѣя сильный, хорошо центрированный источникъ свѣта, соединить соответствующимъ образомъ микроскопъ съ любой камерой и затѣмъ просто-на-просто репродуцировать на пластинку истинное изображеніе предмета, полученное отъ объектива—лучше всего отъ объектива, скорригированнаго по отношению къ химически наиболѣе дѣятельнымъ лучамъ, именно къ т. наз. микрофотографическому объективу. Въ томъ случаѣ, для фотографированія въ поляризованномъ свѣтѣ применяются исключительно ортохроматическія пластинки. Только въ болѣе сильныхъ увеличеніяхъ приходится прибѣгать къ полярно-проекционныхъ окуляровъ. Аппаратъ, насаживающійся вертикально на микроскопъ, во многихъ случаяхъ нельзя рекомендовать, т. к. при этомъ весьма страдаетъ устойчивость установки. Кроме того, для того, чтобы увеличенія не были слишкомъ уменьшены, камера должна быть раздвижная. Микрофотографіи, снятыя при дневномъ свѣтѣ, страдаютъ нерѣдко отъ ошибокъ, происходящихъ отъ слишкомъ долгой экспозиціи, а также отъ не особенно тщательнаго манипулированія во время съемки. Болѣе предпочтенія заслуживаютъ, уже изъ-за большого постоянства силы свѣта, искусственные источники свѣта, каковыми прежде всего является кальціевый свѣтъ и вольтова дуга. Къ цвѣтнымъ микрофотографіямъ, играющимъ столь важную роль въ органической микрофотографіи, здѣсь приходится прибѣгать только въ совершенно специальныхъ случаяхъ. Фотографированіе явленій въ сходящемъ поляризованномъ свѣтѣ также сравнительно просто: получивъ отъ Бертрановской линзы истинное изображеніе предмета



непосредственно отбрасывается на фотографическую пластинку. Применяемая для обыкновенных исследований Бертрановская линза имеет обыкновенно слишком малое фокусное расстояние, чтобы проэктировать изображение вне тубуса микроскопа. Поэтому, для фотографирования и проэктирования оптических осей нужны специальные линзы с большим фокусным расстоянием. Наконец, следует упомянуть, что вполне удастся приготовить и цветные фотографии интерференционных цветов при помощи трехцветной системы.

Что касается до другой группы относящихся сюда аппаратов, именно рисовальных аппаратов, то их имеется большое число самых разнообразных конструкций, которые в общем основываются на принципе *camera lucida*: наблюдаемое в микроскоп изображение отбрасывается на плоскость рисунка и зарисовывается карандашом, при равномерной резкости изображения и при возможно меньшей потере света. Две из этих конструкций оказались особенно пригодными, именно, во-первых, рисовальный аппарат Аббэ, а затем аппарат Наше, из которых первый имеет то преимущество, что даже при пользовании самыми сильными объективами не происходит потери света.

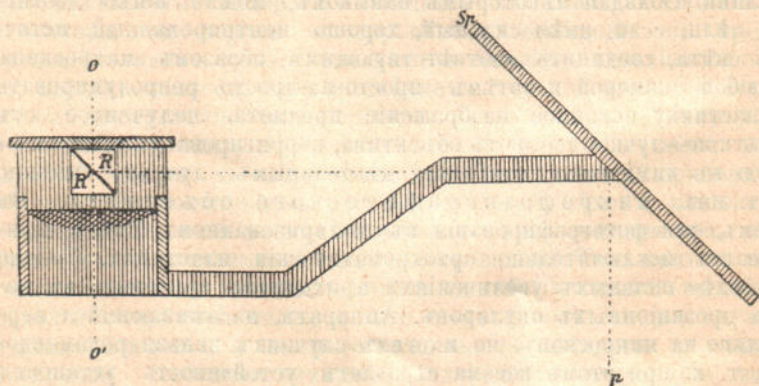


Рис. 97. Рисовальный аппарат Аббэ.

Аппарат Аббэ (рис. 97) состоит из двух склеенных призм, образующих вместе куб, и которые, на месте их соприкосновения, посеребрены, за исключением небольшого центрального участка. Через это отверстие глаз получает изображение предмета  $o$  из окуляра, а вращающееся зеркало, придвинутое на расстоянии 70 мм., отбрасывает изображение плоскости, на которой рисуют, на посеребренную поверхность, от которой оно и отражается в глаз. Различную силу освещения объекта и плоскости чертежа можно еще регулировать помещением темноокрашенных пластинок из дымчатого стекла на пути лучей, идущих от плоскости чертежа.

Рисовальный аппарат Наше (рис. 98, стр. 109) состоит из призм с ромбическим сечением  $abcd$ , к передней, находящейся под окуляром стороне которого приклеена маленькая призма  $efg$ ; лучи,



идущие от объекта  $o$ , встречают перпендикулярно къ нимъ расположенный катетъ этой призмы и проходятъ черезъ нее, не преломляясь, въ глазъ; лучи же  $p$ , идущие отъ рисовальнаго острія, испытываютъ при  $cb$  и  $ad$  отраженіе и выходятъ изъ аппарата по одному направленію съ перпендикулярными лучами.

Само собой разумѣется, что, при помощи этого аппарата, можно зарисовывать и осевыя фигуры. При извѣстныхъ обстоятельствахъ эти аппараты могутъ быть весьма пригодны для измѣреній, если полученные такимъ путемъ осевыя фигуры нанести на бумагу съ миллиметровыми дѣленіями, которая тогда въ то же время служить масштабомъ для опредѣленія.

Въ заключеніе здѣсь слѣдуетъ еще вкратцѣ упомянуть объ одномъ способѣ рисованія кристалловъ, который оказался весьма практичнымъ при микроскопическомъ изслѣдованіи кристалловъ, т. к. эти простые наброски даютъ возможность обозрѣть всѣ оптическія свойства кристалла. Сдѣлавши набросокъ формы, спайности, включеній кристалла, по возможности согласно съ дѣйствительностью, — если нужно, при помощи рисовальнаго аппарата, — и нанесъ измѣренные углы, опредѣляютъ направленія колебаній и обозначаютъ ихъ на рисункѣ стрѣлками. Опредѣленіе относительной скорости обоихъ лучей, колеблющихся въ данномъ разбѣзѣ, въ связи съ изслѣдованіемъ въ сходящемся свѣтѣ, даетъ намъ направленія осей болѣеи, средней и меньшей скорости колебаній, которыя на рис. обозначаются буквами  $a$ ,  $b$  и  $c$ . Сила свѣто-

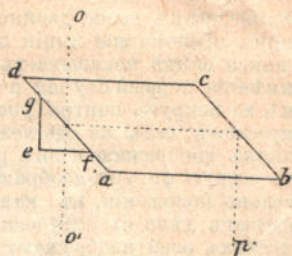


Рис. 98.

Рисовальный аппаратъ Наше.

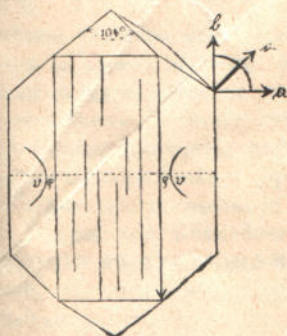


Рис. 99.

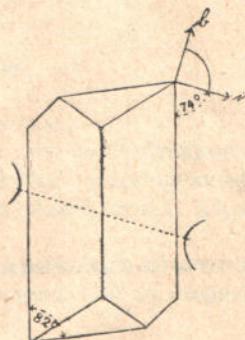


Рис. 100.

Схематическія изображенія кристалла.

$a$  — желто-зеленый,  $b$  — сине-зеленый,  $c$  — зеленый.

преломленія обозначается такъ, что при совпаденіи ея съ силой свѣтопреломленія канадскаго Сальзама данная стрѣлка изображается собою тонкой линіей; если свѣтопреломленіе еще ниже то стрѣлка обозначается пунктиромъ; если же оно выше, то стрѣлка проводится тѣмъ же жирной линіей, чѣмъ болѣе свѣтопреломленіе по данному направленію отличается отъ свѣтопреломленія канадскаго Сальзама. Затѣмъ наблюдаютъ плеохроизмъ, если таковой имѣется, и пишутъ около стрѣлки цвѣтъ, соответствующій данному направленію. Выведенная изъ интерференционныхъ цвѣтовъ высота двойного преломленія обозначается стрѣлками, соединяющими стрѣлки, которыя показываютъ направленія колебаній, причемъ опять-таки начинаютъ съ пунктирныхъ линій, — при очень слабомъ двойномъ преломленіи, — и затѣмъ проводятъ линіи тѣмъ



толще, чѣмъ выше двойное преломленіе; при особенно сильномъ двойномъ преломленіи линіи проводятся двойными. Изслѣдованіе въ сходящемся свѣтѣ показываетъ, одноосно ли вещество, или двуосно. Если имѣется первый случай и если ось выходитъ перпендикулярно къ пластинкѣ, то вокругъ центра рисунка проводятъ маленькій кругъ съ чернымъ крестомъ; если же ось лежитъ параллельно плоскости рисунка, то тотъ же знакъ изображаютъ вѣѣ рисунка; если, наконецъ, ось проходитъ косо, то осевую фигуру изображаютъ на краю кристалла въ такомъ приблизительно положеніи, въ какомъ она видна подъ микроскопомъ. Когда имѣютъ дѣло съ оптически двуоснымъ кристалломъ, то плоскость оптическихъ осей изображаютъ въ ея истинномъ положеніи и стараются передать на рисунокѣ симметрію выхода оптическихъ осей, а также и приблизительную величину ихъ угла. Само собой разумѣется, что бываютъ случаи, когда подобные наброски не позволяютъ судить объ оптическихъ свойствахъ кристалла, но въ большинствѣ случаевъ при помощи этихъ набросковъ можно избѣжать длиннаго описанія и получить быстрый обзоръ всѣхъ оптическихъ свойствъ кристалла, поскольку таковыя изслѣдованы качественными методами микроскопической техники. Примѣры подобныхъ набросковъ даны на рис. 99 и 100; первый относится къ кристалламъ водосодержащей основной сѣрнистой мѣди, а послѣдній—къ искусственно полученной марганцовой соли, соответствующей вивіаниту.

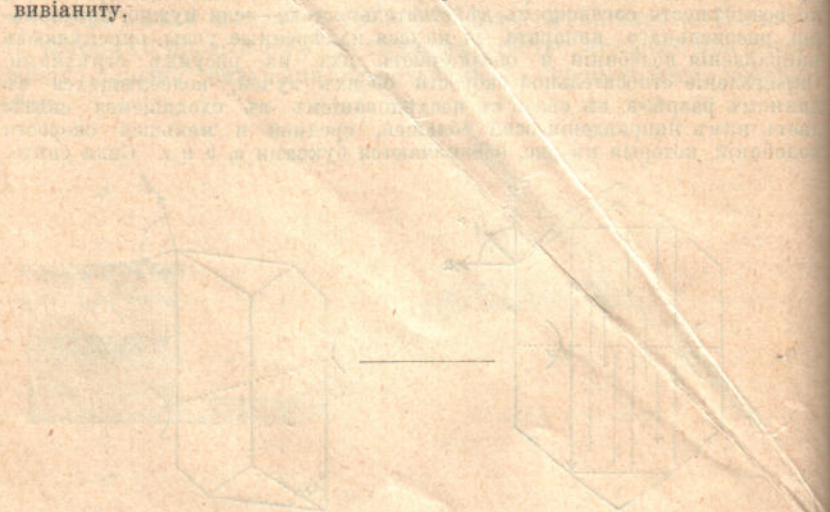


РИС. 99

Водосодержащая основная сѣрнистая мѣдь

Водосодержащая основная сѣрнистая мѣдь (схематическое изображение)



# ОГЛАВЛЕНІЕ.

	СТР.
Введение . . . . .	1
<b>Поляризаціонный микроскопъ.</b> . . . .	5
<b>Юстированіе поляризаціоннаго микроскопа.</b> . . . .	18
1. Испытаніе линзъ . . . . .	18
2. Центрированіе предметнаго столика . . . . .	20
3. Юстированіе нитянаго креста и николевыхъ призмъ. . . . .	22
<b>Наблюденія въ обыкновенномъ свѣтѣ.</b> . . . .	23
1. Наблюденіе свѣтопреломленія . . . . .	24
2. Опредѣленіе формы и спайности . . . . .	32
3. Измѣреніе величины и толщины объекта. . . . .	36
4. Наблюденіе надъ включеніями . . . . .	38
5. Наблюденіе надъ цвѣтомъ. . . . .	39
6. Явленія въ отраженномъ свѣтѣ. . . . .	40
<b>Наблюденія въ параллельномъ поляризованномъ свѣтѣ.</b> . . . .	40
Оптическія свойства кристалловъ . . . . .	41
<b>Исслѣдованія съ однимъ николемъ.—Плеохроизмъ</b> . . . . .	48
<b>Исслѣдованія съ двумя николями.</b> . . . .	52
1. Распознаваніе двойного лучепреломленія . . . . .	52
2. Опредѣленіе положенія направленій колебаній. Ставроскопы . . . . .	54
3. Измѣреніе силы двойного преломленія. Интерференціонныя цвѣта . . . . .	60
4. Опредѣленіе относительной скорости обоихъ лучей. Характеръ двойного преломленія. Компенсаторы . . . . .	69
<b>Наблюденія въ сходящемся поляризованномъ свѣтѣ.</b> . . . .	75
1. Отношеніе оптически одноосныхъ кристалловъ къ сходящемуся поляризованному свѣту . . . . .	78
2. Отношеніе оптически двуосныхъ кристалловъ къ сходящемуся поляризованному свѣту . . . . .	85
<b>Двойниковыя образованія и оптическія аномаліи</b> . . . . .	96
<b>Приложеніе. Вспомогательные аппараты</b> . . . . .	101
1. Вращательные аппараты . . . . .	101
а) Вращательные аппараты для наблюденія между двумя плоско-параллельными линзами . . . . .	102
б) Вращательные аппараты для изслѣдованія въ жидкостяхъ . . . . .	104
2. Нагрѣвательные аппараты . . . . .	106
3. Репродукціонные аппараты. . . . .	107
<b>Слѣжаніе</b> . . . . .	111
<b>Алфавитный указатель</b> . . . . .	113



# Алфавитный указатель.

	СТР.		СТР.
Аббэ, освѣтительный аппаратъ . . . . .	8	Вращательный аппаратъ Клейна . . . . .	105
„ „ рисовальный аппаратъ . . . . .	108	„ „ Шредера . . . . .	102
Аберрація . . . . .	18	Вращеніе плоскости поляризаціи . . . . .	83
Абсорбція . . . . .	48		
Анализаторъ . . . . .	12	Гаусса зеркальное приспособле-	
Анизотропный см. двупреломля-		ніе . . . . .	34
ющій . . . . .		Главная зона . . . . .	74
Аномалія оптическая . . . . .	99	Главное сѣченіе . . . . .	42
Аномальные интерференціонные		Гониометръ . . . . .	101
цвѣта . . . . .	64	„ „ окулярный . . . . .	34
Апертура . . . . .	8	Горизонтальная дисперсія . . . . .	88
Апланатичность линзъ . . . . .	18	Гранная окраска . . . . .	48
Апохроматы . . . . .	19		
Аппараты вращательные . . . . .	101	Двойная пластинка Бравэ . . . . .	59
„ „ нагрѣвательные . . . . .	106	„ „ Брезина . . . . .	58
„ „ репродукціонные . . . . .	107	„ „ Кальдерона . . . . .	58
Аппаратъ вращательный Клейна . . . . .	105	Двойники . . . . .	96
„ „ рисовальный Аббэ . . . . .	108	Двойниковая штриховатость . . . . .	98
Ахроматическія линзы . . . . .	19	Двойниковый компенсаторъ . . . . .	73
		„ „ поляризаторъ . . . . .	60
Бабинэ компенсаторъ . . . . .	73	„ „ Карпинскаго . . . . .	49
Бальзамъ канадскій . . . . .	28	Двойное преломленіе . . . . .	
Безцвѣтные тѣла . . . . .	39	„ „ величина . . . . .	36
Бертрана линза . . . . .	76	„ „ измѣреніе . . . . .	65
„ „ пластинка . . . . .	59	„ „ компенсація . . . . .	69
Биноклярный микроскопъ . . . . .	33	„ „ уголь . . . . .	33
Бирефрактометръ . . . . .	74	Двойной окуляръ . . . . .	32
Биссектриса . . . . .	47	Двуосные кристаллы . . . . .	47
Біо кварцевая пластинка . . . . .	59	Двупреломляющіе кристаллы . . . . .	42
Блескъ . . . . .	40	Дисперсіонные цвѣта . . . . .	64
Бравэ двойная пластинка . . . . .	59	Дисперсія оптическихъ осей . . . . .	87
Брезина двойная пластинка . . . . .	58	„ „ среднихъ линій . . . . .	48
Брюстера крестъ . . . . .	99	Дихроичные кристаллы . . . . .	50
Бѣлый цвѣтъ перваго и высшаго		Дихроскопъ окулярный . . . . .	49
порядковъ . . . . .	63	Диафрагма ирисовая . . . . .	26
		„ „ центральная . . . . .	27
Валлерана рефрактометръ . . . . .	28	Egale intensité lumineuse . . . . .	99
Вертикальный иллюминаторъ . . . . .	40		
Видимый уголъ оптическихъ осей . . . . .	90	Жидкости просвѣтляющія . . . . .	28
Винтъ микрометрическій . . . . .	11	Жидкость Туля . . . . .	27
Включенія . . . . .	38, 39	Зажимы предметные . . . . .	14
Внутреннее отраженіе полное . . . . .	24		
Вращательные аппараты . . . . .	101		



	стр.		стр.
Зеркальное приспособление Га- усса . . . . .	34	Красный цвѣтъ I порядка, см. фиолетовый.	
Зона главная . . . . .	74	Крестъ Брюстера . . . . .	99
Зубчатка . . . . .	12	" нитяный . . . . .	11
Измѣреніе двойного преломленія	65	Кристаллиты . . . . .	35
толщины шлифа . . . . .	36	Кристаллы двусосные . . . . .	47
Изображеніе—истинное и мнимое	6	" двупреломляющіе . . . . .	42
искаженіе его . . . . .	18	" дихроичные . . . . .	50
Изотропныя тѣла . . . . .	41	" изображеніе ихъ . . . . .	109
Иллюминаторъ вертикальный	40	" лѣвоовращающіе . . . . .	83
Индикаторы оптическіе . . . . .	27	" одноосные . . . . .	44
Иностранцева сравнительная камера . . . . .	40	" однопреломляющіе . . . . .	40
Интерференціонныя цвѣта . . . . .	60	Кристаллы отрицательные . . . . .	45
ихъ порядокъ . . . . .	63	" положительные . . . . .	45
" аномальные . . . . .	64	" правовращающіе . . . . .	83
Интерференціонныя полосы . . . . .	68	" скелеты ихъ . . . . .	35
" фигуры . . . . .	76	" трихроичные . . . . .	50
" однооснаго . . . . .		" формы ихъ . . . . .	33
кристалла . . . . .	79	Кронгласъ . . . . .	19
" двусоснаго . . . . .		Круговая поляризація . . . . .	82
кристалла . . . . .	86	Лазо способъ . . . . .	76
Присовая діафрагма . . . . .	26	Лезона призма . . . . .	33
Искаженіе изображенія . . . . .	18	Линза Бертрана . . . . .	76
Истинное изображеніе . . . . .	6	Линія средняя (биссектриса) . . . . .	47
Истинный уголъ оптическихъ осей	90	Ложный свѣтъ . . . . .	16
Иальдерона двойная пластинка	58	Лупа Клейна . . . . .	77
Камера сравнительная Иностран- цева . . . . .	40	Лучъ необыкновенный и обыкно- венный . . . . .	42
Канадскій бальзамъ . . . . .	28	Лѣвоовращающіе кристаллы . . . . .	83
Карпинскаго двойниковый поля- ризаторъ . . . . .	49	Маллара теорія . . . . .	98
Кварцевая пластинка Био . . . . .	59	" формула . . . . .	90
Кварцевый клинъ . . . . .	72	Микрометрический винтъ . . . . .	11
Клейна лупа . . . . .	77	Микрометръ . . . . .	36
рефрактометръ . . . . .	27	Микрорефрактометръ . . . . .	27
универсальный враща- тельный аппаратъ . . . . .	105	Микроскопъ бинокулярный . . . . .	33
Клинъ кварцевый . . . . .	72	" сложный . . . . .	5
слюдяный Федорова . . . . .	72	" стереоскопическій . . . . .	32
Клейла ставроскопъ . . . . .	58	Микрофотографія . . . . .	107
Клещаніе лучей, " направленіе . . . . .	54	Мнимое изображеніе . . . . .	6
" скорость . . . . .	46	Монохроматическій свѣтъ . . . . .	56
Компараторъ . . . . .	65	Нагрѣвательные аппараты . . . . .	106
Компенсаторъ . . . . .	70	Наклонная дисперсія . . . . .	88
Бабиня . . . . .	73	Направленіе погасанія . . . . .	54
двойниковый . . . . .	73	" колебанія лучей . . . . .	54
Федорова . . . . .	72	Необыкновенный лучъ . . . . .	42
Компенсація двойного прелом- ленія . . . . .	69	Непрозрачныя тѣла . . . . .	39
Компенсоръ . . . . .	9	Николи . . . . .	10
удаленіе его . . . . .	16	" параллельные . . . . .	61
Оптическая рефракція . . . . .	67	" скрещенные . . . . .	41, 61
Освѣтъ освѣтительный, суженіе . . . . .	26	Нитяный крестъ . . . . .	11
Освѣщеніе . . . . .	26	Нормаль оптическая . . . . .	47
		Обыкновенный лучъ . . . . .	42
		Объективные щипцы . . . . .	13



	СТР.		СТР.
Объективъ . . . . .	6	Показатель преломленія различ-	
Объектный микрометръ . . . . .	36	ныхъ жидкостей . . . . .	28
Одноосные кристаллы . . . . .	44	Полное внутреннее отраженіе . . . . .	24
Однопреломляющие кристаллы . . . . .	40	Положительные кристаллы . . . . .	45
Однородный свѣтъ . . . . .	17	Полосы интерференціонныя . . . . .	68
Окраска гранная . . . . .	48	Полутѣневой поляризаторъ . . . . .	60
Окрашенные тѣла . . . . .	39	Поляризаторъ . . . . .	15
Окулярный гониометръ . . . . .	34	"    двойниковый . . . . .	60
"    дихроскопъ . . . . .	49	Поляризаторъ двойниковый Кар-	
"    микрометръ . . . . .	36	пинскаго . . . . .	49
Окуляръ . . . . .	5	Поляризаторъ полутѣневой . . . . .	60
"    двойной (стереоскопи-		"    удаленіе его . . . . .	17
ческий) . . . . .	32	Поляризація . . . . .	9
Окуляръ рамсденовскій . . . . .	78	"    круговая . . . . .	82
Опаковыя тѣла . . . . .	39	"    плоскость ея . . . . .	9, 83
Оптическая аномалія . . . . .	99	"    уголъ . . . . .	9
"    нормаль . . . . .	47	Порядокъ интерференціонныхъ	
Оптическія оси . . . . .	44	цвѣтовъ . . . . .	63
"    "    плоскость ихъ . . . . .	47	Правовращающіе кристаллы . . . . .	83
"    "    уголъ видимый		Предметные зажимы . . . . .	14
и истинный . . . . .	90	Предметный столикъ . . . . .	14
Освѣтительный аппаратъ Аббэ . . . . .	8	Преломленія показателя жид-	
Освѣтительный конусъ, суженіе		кости, Тулѣ . . . . .	27
его . . . . .	26	Призма Лезона . . . . .	33
Освѣщеніе косое . . . . .	26	Прозрачныя тѣла . . . . .	39
Осевыя фигуры . . . . .	76	Просвѣтляющія жидкости . . . . .	28
"    "    двуоснаго кри-		Прямое погасаніе . . . . .	55
сталла . . . . .	86	Псевдохроизмъ . . . . .	39
"    "    однооснаго кри-			
сталла . . . . .	79	Рамсденовскій окуляръ . . . . .	78
Ось оптическая . . . . .	44	Распространенія свѣта скорость . . . . .	24
"    цвѣтовая . . . . .	50	Репродукціонные аппараты . . . . .	107
Отраженіе внутреннее полное . . . . .	24	Рефрактометръ Валлерана . . . . .	28
Отраженный свѣтъ . . . . .	40	"    Клейна . . . . .	27
Отрицательные кристаллы . . . . .	45	Рефракція коническая . . . . .	67
Objektmarkierer . . . . .	17	Рисовальный аппаратъ Аббэ . . . . .	108
		Рисованіе кристалловъ . . . . .	109
Параллельные николи . . . . .	61	Рѣшетчатая штриховатость . . . . .	98
Параллельный свѣтъ . . . . .	25		
Параморфозы . . . . .	99	Салазки накрестъ лежащія . . . . .	15
Переkreщенная дисперсія . . . . .	88	Свѣтопреломленіе . . . . .	24, 49
Пластинка Бертрана . . . . .	59	Свѣторазсѣяніе . . . . .	19
"    двойная Бравэ . . . . .	59	Свѣтосила . . . . .	20
"    "    Брезина . . . . .	58	Свѣтъ ложный . . . . .	16
"    "    Кальдерона . . . . .	58	"    однородный . . . . .	17
"    "    кварцевая Біо . . . . .	59	"    отраженный . . . . .	40
"    "    слюдяная . . . . .	71	"    параллельный . . . . .	25
Плеохроизмъ . . . . .	50	"    сходящійся . . . . .	75
Плоскость оптическихъ осей . . . . .	47	"    скорость распространенія	
"    поляризація . . . . .	83	его . . . . .	24
"    скользянія . . . . .	35	Симметрическое погасаніе . . . . .	55
Поверхность шагреновая . . . . .	32	Скала угловъ оптическихъ осей . . . . .	92
Погасаніе, направленіе его . . . . .	54	Скелеты кристалловъ . . . . .	35
"    прямое . . . . .	55	Скольженія плоскости . . . . .	35
"    симметрическое . . . . .	55	Скорость распространенія свѣта . . . . .	24
"    уголъ его . . . . .	55	Скрененные николи . . . . .	41, 61
Поглощеніе свѣта . . . . .	48	Сложный микроскопъ . . . . .	5
Показатель преломленія . . . . .	24	Слюдяная пластинка въ $\frac{1}{4}$ волны . . . . .	71
"    жидкости Тулѣ . . . . .	27		



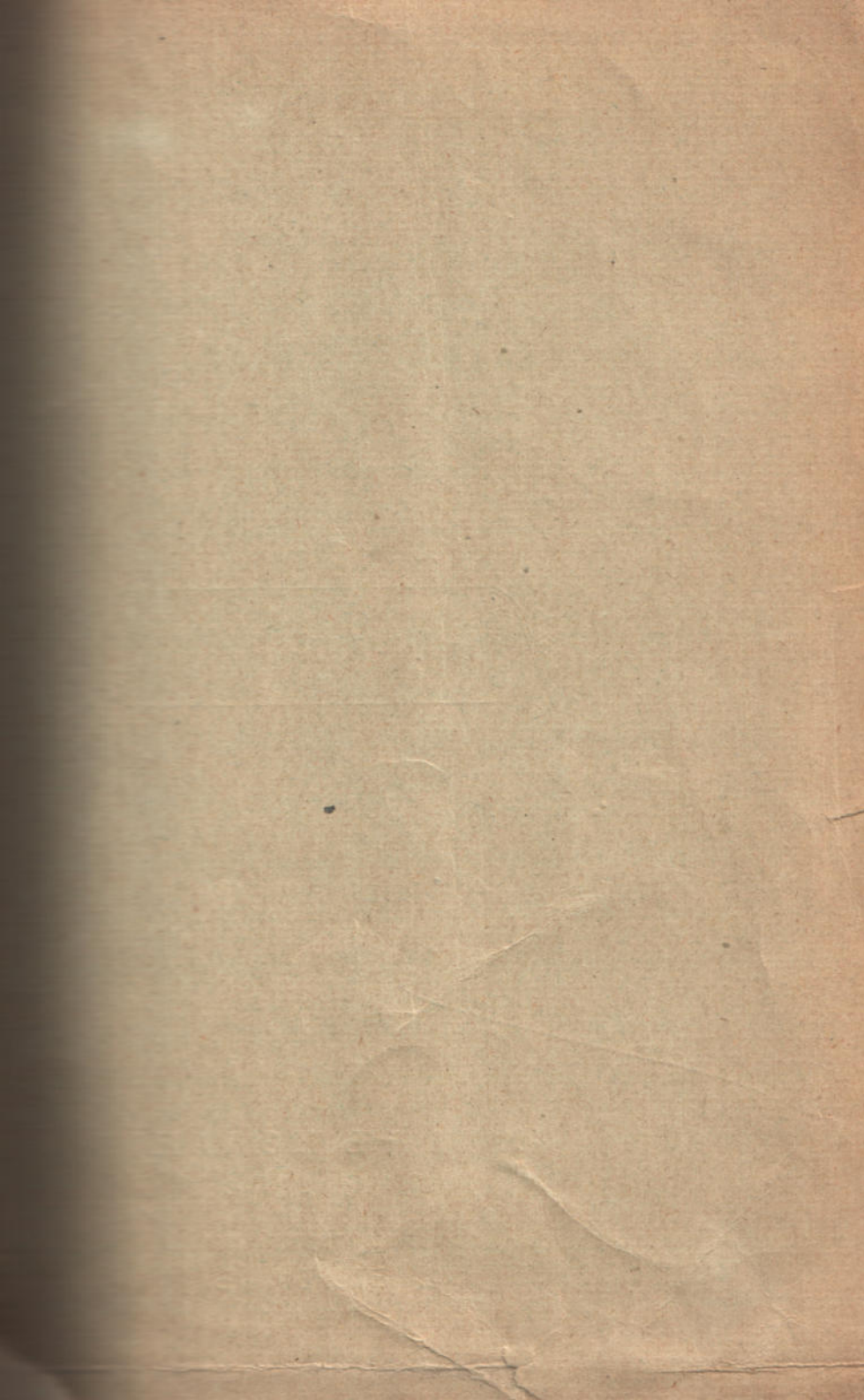
	СТР.		СТР.
Слюдяной клинь Федоровскій . . . . .	72	Федоровскій слюдяной клинь . . . . .	72
Слюдность . . . . .	35	"    универсальный сто-	
Слюды Лазо . . . . .	76	ликъ . . . . .	103
Слюдательная камера Иностран-		Фигуры вытравленія . . . . .	40
ца . . . . .	40	"    осевая (интерференціон-	
Слюдная линия (биссектриса) . . . . .	47	ная) . . . . .	76, 79, 86
Слюдоскопъ Кобелля . . . . .	58	Фиолетовый цвѣтъ . . . . .	63, 71
Слюдоскопическій окуляръ . . . . .	32	Флинтгласъ . . . . .	19
Слюды предметный . . . . .	14	Формула Малляра . . . . .	90
съ накрестъ лежащими		Формы кристалловъ . . . . .	33
салазками . . . . .	15		
универсальный, Федо-			
ровскій . . . . .	103	Ходъ лучей въ микроскопѣ . . . . .	5
Слюды освѣтительнаго конуса . . . . .	26	"    въ сходящемся свѣтѣ . . . . .	75
Слюдическая аберрація . . . . .	18	Хроматическая аберрація . . . . .	18
Слюдящийся свѣтъ . . . . .	75		
Слюды главное . . . . .	42		
		Цвѣта интерференціонные . . . . .	60, 63
Слюды Малляра . . . . .	98	"    аномальные . . . . .	64
Слюдина объекта . . . . .	36	"    тѣлъ . . . . .	39
Слюдическая дисперсія . . . . .	88	Цвѣтовая ось . . . . .	50
Слюдичные кристаллы . . . . .	50	Центральная діафрагма . . . . .	27
Слюдиль . . . . .	97	Центрированіе . . . . .	20
проростанія . . . . .	98		
Слюды жидкость . . . . .	27	Шагреновая (грубая) поверхность . . . . .	32
Слюды безцвѣтныя, прозрачныя,		Шварцманна скала угловъ опти-	
прозрачныя (опаковыя), окра-		ческихъ осей . . . . .	91
шенныя . . . . .	39	Шлифъ . . . . .	7
Слюды изотропныя . . . . .	41	Шредера вращательный аппа-	
Слюды sensible . . . . .	59	ратъ . . . . .	102
		Штриховатость рѣшетчатая . . . . .	98
Слюды оптическихъ осей . . . . .	90	"    двойниковая . . . . .	98
погасанія . . . . .	55		
Слюды конденсора . . . . .	16	Щипцы объектные . . . . .	13
Слюды универсальный столикъ Федо-			
ровскій . . . . .	103	Юстированіе . . . . .	22
Слюды универсальный вращательный			
аппаратъ Клейна . . . . .	105		
Слюды скорость колебаній . . . . .	46		



## Замѣченныя опечатки.

Страница	Строка.	Напечатано.	Должно быть.
2	8 сл.	реконееновано	рекомендовано
3	12 св.	тоже	то же.
12	14 "	Зубчатка	Зубчатка К
14	17 "	подъ г	подъ г <sub>1</sub>
16	13 "	въ томъ,	въ томъ, что
16	20 "	желательно	желательно
34	23 "	по отношеніи	по отношенію
40	24 "	свободный	свободной
42	—	Рисунокъ № 42 перевернуть	
43	1 сл.	зе	зо
47	1 св.	тесской	ческой
48	1 "	б	б
81	4 "	осей	оси
87	7 сл.	ромбическій	ромбической
96	22 св	размѣръ	разрѣзъ









Цѣна 1 руб. 25 коп.



СКЛАДЪ ИЗДАНІЯ

*Л. А. Мурье.*

Александровскій пр., 21.

С. ПЕТЕРБУРГЪ.